3 1761 04265 7924

Führer für Forschungsreisende

von F. Frhr. von Richthofen

Prof. Meding

G
R

FÜHRER

FÜR

FORSCHUNGSREISENDE.

Anleitung zu Beobachtungen
über Gegenstände der physischen Geographie
und Geologie

von

Ferdinand Freiherr von Richthofen

Neudruck der Auflage von 1886

HANNOVER
VERLAG VON GEBRÜDER JÄNECKE
1901

500037
16.9.53

Uebersetzungsrecht vorbehalten

Druck von Gebrüder Jänecke, Hannover

Vorwort.

Im Jahr 1874 hatte mein Freund, der jetzige Geheime Admiralitätsrath und Direktor der deutschen Seewarte, Herr Dr. G. Neumayer, die Vertreter verschiedener Wissenschaften zur Abfassung des im folgenden Jahr erschienenen und seitdem vielbenutzten Werkes „Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen“ vereinigt. Ich selbst hatte darin die Abtheilung „Geologie“ übernommen. Als vor einigen Jahren der Herr Verleger den Wunsch aussprach, diesen Theil für sich allein in besonderem Abdruck erscheinen zu lassen, erklärte ich mich gern zu einer Neugestaltung desselben bereit. Stoff und Darstellung erweiterten sich während der Arbeit schnell: aus den wenigen Blättern des ersten Aufsatzes ist ein Buch geworden. Ich habe mich darin bestrebt, dem Forschungsreisenden eine Anleitung zu Beobachtungen auf denjenigen Gebieten der physischen Geographie und der Geologie zu geben, welche in ihrer Vereinigung die Grundlage für die Morphologie der Erdoberfläche zu bilden geeignet sind.

Verschiedene Rücksichten haben diese Beschränkung veranlasst. Einerseits ist das Erscheinen einer zweiten Auflage von Neumayers „Anleitung“ in Aussicht genommen. Es

ist zu erwarten, dass die schon in der ersten gesonderten Abschnitte dort eine dem jetzigen Standpunkt entsprechende Behandlung finden werden. Die auf Messung und Herstellung von Karten bezügliche Arbeit des Reisenden ist daher hier in gedrängter Kürze angedeutet worden, während von einer Anleitung zu Beobachtungen über Erdbeben gänzlich Abstand genommen wurde. Andererseits konnte hinsichtlich allgemeiner Belehrung in fundamentalen Wissenschaftszweigen, insbesondere der Petrographie, der Formationslehre und den auf die Atmosphäre und die Oceane bezüglichen Theilen der physischen Geographie, auf treffliche Darstellungen in leicht zugänglichen Lehrbüchern und fasslichen Compendien verwiesen werden. Dagegen sind solche Gegenstände, welche der Reisende dort weniger berücksichtigt findet und doch fortdauernd zu beobachten Gelegenheit hat, insbesondere die stetigen Veränderungen der Erdoberfläche durch von aussen wirkende Kräfte, sowie die Formen der Küsten und der Bodenplastik, mit grösserer Ausführlichkeit behandelt worden.

Das Buch ist zunächst dazu bestimmt, denjenigen Reisenden, dessen wissenschaftliche Vorbildung die Gebiete der physischen Geographie und der Geologie in geringem Maass umfasst, sowie solche, welche als Missionare, Kaufleute oder in anderen Beschäftigungszweigen dauernd in wenig erforschten Ländern leben, zu nutzbringenden Beobachtungen anzuleiten. Doch ist dieser Zweck zuweilen überschritten worden. Manche auf eigener Erfahrung, Beobachtung und Verarbeitung beruhende Ausführung wird, wie ich hoffe, auch dem Fachgenossen Gesichtspunkte zur Berücksichtigung und weiteren Entwickelung bieten. Das Bestreben, durch systematische Eintheilung der Formgebilde der Erdoberfläche in Kategorien und Typen, wie sie sich im Verlauf der akademischen Vorlesungen des Verfassers allmählich herangebildet hat, und durch Einführung charakteristischer Bezeichnungen den schwer übersehbaren und aus Beschreibungen allein kaum verständ-

lichen Stoff zu gliedern, ist bei der Behandlung vielfach maassgebend gewesen. Manches konnte nur in Umrissen angedeutet werden. Wenn ich mir auch wohl bewusst bin, dass solche Versuche bei dem gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse nur mangelhaft sein können, so dürfte doch die Erkennung einer nach richtigen Grundsätzen ausgesonderten Kategorie geeignet sein, dem Forscher in manchem Fall einen Anhalt für die Richtung seiner Beobachtungen zu geben.

Die einzelnen Kapitel sind in verschiedenen Ferienabschnitten zwischen anderen Arbeiten geschrieben worden. Dies möge es entschuldigen, wenn zuweilen ein bereits erwähnter Gegenstand später noch einmal in Angriff genommen und die einheitliche Anordnung dadurch beeinträchtigt worden ist. Um die Veröffentlichung nicht zu verzögern, ist das letzte Kapitel mit geringer Erweiterung der ursprünglichen Fassung hinzugefügt worden.

Von Literaturangaben ist im allgemeinen abgesehen worden, da eine quellenmässige Bearbeitung des Stoffes nicht im Plan des Werkes lag. Nur hier und da ist, gänzlich ohne bestimmte Auswahl, auf einzelne neuere Bücher oder Abhandlungen verwiesen worden.

Ich wage mich der Hoffnung hinzugeben, dass bei dem Aufschwung, welchen jetzt, an dem Ende des letzten Zeitalters der Entdeckungen, die wissenschaftlichen Forschungsreisen bereits nehmen und noch mehr in nächster Zukunft, nicht am wenigsten von deutscher Seite, zu nehmen versprechen, der vorliegende Versuch dazu beitragen möge, die Arbeiten auf fremdem, und vielleicht auch auf heimischem Boden in eine Bahn zu lenken, welche tieferes Verständniss und regeres Interesse für die Gestaltung der Erdoberfläche herbeizuführen geeignet erscheint. Denn nur wenn die Formen und Erscheinungen, welche sie bietet, nicht einfach als solche erfasst und dargestellt, sondern als Resultate von

Kräftewirkungen begriffen werden, lässt sich ein sicheres Fundament gewinnen, mit dessen Hilfe die Beobachtungen über das Verhältniss nicht allein der Pflanzen und Thiere, sondern auch des Menschen, seiner Ansiedelungen, seiner Industrien und seines Verkehrslebens zu der umgebenden Natur in wissenschaftlichem Sinn, d. h. in ihrem Causalitätsverhältniss zu derselben, verstanden werden können.

Leipzig, im Januar 1886

Der Verfasser

Da die von der Verlagshandlung seit längerer Zeit gewünschte Herausgabe einer zweiten Auflage dieses Buches eine vollständige Umarbeitung in allen Theilen erfordern würde und ich dazu die Musse nicht finden konnte, hat sich der Herr Verleger zur Veranstaltung eines unveränderten Neudrucks entschlossen. Ich durfte diesem Plan meine Zustimmung nicht versagen, kann es aber nicht unterlassen, meinem Bedauern darüber Ausdruck zu geben, dass sehr Vieles, was ich gern in verbesserter Fassung geboten hätte, noch einmal in dem nicht mehr zeitgemässen Gewand des Jahres 1886 erscheint. Eine Verantwortung für richtigen Abdruck vermag ich nicht zu übernehmen, da die Druckbogen nicht durch meine Hand gegangen sind.

Berlin, im Mai 1901

Der Verfasser

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort III
Inhalt VII

Erste Abteilung.

Einleitender Teil 1
Vorbemerkungen 3

Erstes Kapitel: **Reisevorbereitung und Reisemethoden** . 8
1) Vorkenntnisse und litterarische Hülfsmittel 9
2) Ausrüstung für wissenschaftliche Arbeit 14
3) Methoden des Reisens 23
4) Wahl des Reiseweges 24
5) Sammeln geologischer Gegenstände 26
6) Wie und was man aufzeichnen und kartieren muss . . . 31
7) Allgemeine praktische Winke 34

Zweites Kapitel: **Messung und Zeichnung** 42
1) Messung in der Horizontalen 47
2) Zusammenstellung der Karte 51
3) Messung in der Vertikalen 54

Drittes Kapitel: **Klimatische und biologische Beobachtungen** 59
A. Beobachtungen über klimatische Faktoren 59
1) Instrumente für meteorologische Beobachtungen 61
2) Temperaturbeobachtungen 62
3) Feuchtigkeit der Luft, Bewölkung und Niederschläge . 68
4) Luftdruck und Luftströmungen 70
5) Anzeichen einer Aenderung des Klimas 75
B. Beobachtungen über biologische Faktoren 76

Zweite Abteilung.

Beobachtungen über äusserlich umgestaltende Vorgänge 85
Viertes Kapitel: **Beobachtungen über Veränderungen an Fels und Erdboden** 89
1) Unmittelbare Einwirkung der Sonnenbestrahlung 89

Seite

2) Mechanische Wirkungen des im Erdboden und in Gesteinsklüften gefrierenden Wassers 93
3) Verwitterung 95
a. Angreifbarkeit verschiedener Gesteine durch gleichartige äussere Einflüsse 99
b. Regionale Verschiedenheit der Zersetzungsvorgänge . 108
c. Tiefenzersetzung 109
d. Rückstände der Zersetzung 111

Fünftes Kapitel: **Beobachtungen über Bodenwasser und Quellen** 112
1) Grundwasser und Brunnen 112
2) Quellen 119

Sechstes Kapitel: **Beobachtungen über die mechanische Arbeit der fliessenden Gewässer** 130
A. Normale Ausbildungsformen der Abflussrinnen 133
B. Einfluss der verschiedenen Kraft der Strömung auf die mechanische Arbeit des fliessenden Wassers 145
1) Einfluss des Gefälles 148
2) Einfluss der Wassermasse 149
3) Einfluss der Vegetation 153
4) Einfluss der Wetterseite 153
C. Einflüsse auf die Erosion, welche in der Lagerung und Beschaffenheit des Gesteines beruhen 155
1) Erosion in lockerm Schutte und Gesteine 155
2) Erosion in horizontal lagerndem Gesteine 158
3) 4) 5) Erosion in geneigten Schichten 163
6) Erosion auf Abrasionsflächen 168
7) Einfluss übergreifender Lagerung auf die Erosion . . . 170
8) Einfluss der Gesteinszerklüftung 172
D. Sedimentablagerung durch fliessende Gewässer 174
1) Ablagerung in bewegtem Wasser 174
2) Ablagerung in Seen 177
3) Hochflutseen 180
4) Ablagerungen in Aestuaren 180
5) Deltabildung 182
E. Wandlungen in der Arbeit fliessender Gewässer infolge veränderter Zustände 185
1) Schichtenfaltung 187
2) Tektonische Verschiebungen 189
3) Stauende Aufschüttungswälle 191
4) Aenderung des Klimas 192
5) Ursachen der Stufenbildungen in Flussthälern 195
6) Aenderung der Geoidfläche 202
7) Zerklüftung und Höhlenbildung 202

Siebentes Kapitel: **Beobachtungen an Eis und Gletschern** 205
1) Eis der Gewässer 205
a. Bodeneis 205
b. Eis der stehenden Gewässer 207

Seite
c. Eis der fliessenden Gewässer 207
d. Meereis 209
2) Eis der Gebirgsgletscher 210
a. Morphographische Beobachtungen 212
b. Bewegungserscheinungen 215
c. Physikalische Beschaffenheit des Gletschereises und Mechanismus der Bewegung 218
3) Eisdecken und Gletscher der Polarländer. 223
4) Kennzeichen früherer Vergletscherung 229
a. Mechanische Arbeit der bestehenden Gletscher. . . . 229
b. Frühere Vergletscherung 230
c. Landschaftliche Formen vergletschert gewesener Gebiete 232
5) Mechanische Wirkung des Gletschereises in der Glacialzeit 237
a. Methoden der Untersuchung 237
b. Sichergestellte mechanische Leistungen der Gletscher. 238
c. Unterschiede der Arbeit der Gletscher von der des fliessenden Wassers 240
d. Bewegung der Gletscher über grosse Gebiete 241
e. Abräumungsarbeit 243
f. Korrasionsarbeit 245
g. Fjordbildung 254

Achtes Kapitel: **Beobachtungen an den stehenden Gewässern des Festlandes** 256
A. Einteilung der Seebecken 257
a. Schuttlandbecken 258
b. Abdämmungsbecken 259
c. Abgliederungsbecken 262
d. Ausräumungsbecken. 264
e. Explosionsbecken 266
f. Einbruchsbecken 267
g. Tektonische Becken. 268
h. Becken der kontinentalen Gliederung 270
B. Regionale Gruppierung der Seen 277
C. Aenderungen in Seebecken. 284

Neuntes Kapitel: **Beobachtungen an Meeresküsten** . . . 287
A. Gestalt der Meeresküsten 288
a. Küstentypen nach der Gestalt des Vertikalprofils. . . 289
b. Beziehungen der Küstenlinien zur Plastik der Kontinente 292
c. Einzelgliederung der Küsten 299
aa. Typen, welche auf dem Eingreifen des Meeres in die Thäler beruhen 300
bb. Typen, welche auf dem Ansatze von Schwemmland an der Küste beruhen 307
cc. Oertliche Einflüsse auf die Einzelgliederung. . . . 309
d. Beziehungen von Küsten und Inseln 310
e. Praktischer Wert der Küsten. Seehäfen 310
B. Klimatische Eigentümlichkeiten der Küsten 315

Seite
C. Bewegungserscheinungen des Meeres 320
D. Mechanische Wirkung der Brandung 330
1) Umgestaltung von Felsküsten 330
2) Aufbereitung und Transport der Zerstörungsprodukte 337
3) Wandern des lockern Materials der Küste entlang . . 340
4) Funktionen der vorgeschobenen Küstenwälle 341
5) Wirkung der Meereswellen und Strömungen an Flussmündungen 342
6) Küstenablagerungen durch Meeresströmungen 343
7) Umlagerung der Strandbildungen durch Wind 344
E. Wirkung der Brandungswelle bei negativer Strandverschiebung 346
F. Bildung von Abrasionsflächen infolge der Brandungswirkung bei positiver Strandlinienverschiebung 347
G. Kennzeichen der Strandverschiebung (Hebung und Senkung) 358
a. Kennzeichen einer negativen Verschiebung der Strandlinie 361
b. Kennzeichen positiver Strandverschiebung 366
H. Mechanische Wirkungen der Meeresströmungen 369
I. Wirkungen der Erdbebenfluten 369

Zehntes Kapitel: **Beobachtungen bei Seefahrten** 371
A. Beobachtungen an Inseln 372
a. Einteilung der Inseln 374
I. Kontinentalinseln 376
1) Unselbständige Kontinentalinseln 376
2) Selbständige Kontinentalinseln 379
II. Parasitische Inseln 381
3) Vulkanische Inseln 381
4) Koralleninseln 382
III. Schwemminseln 382
b. Beobachtungen an Koralleninseln und Korallenbauten überhaupt 383
c. Beobachtungen an vulkanischen Inseln 405
B. Gestalt und Beschaffenheit des Meeresbodens 406
Sedimentbildung auf dem Meeresboden 409

Elftes Kapitel: **Beobachtungen über die mechanischen Wirkungen der atmosphärischen Strömungen auf dem Festlande** 422
1) Arten des vom Winde transportierten Materials. . . . 423
2) Aeolische Ablation und Korrasion 427
3) Umlagerung und Aufbereitung 432
4) Ablagerung des Staubes 437

Dritte Abteilung.

Beobachtungen über Erdboden, Gesteine und Gebirgsbau 443

Seite

Zwölftes Kapitel: **Beobachtungen über den lockern Erdboden** 448
A. Faktoren der Bodenbildung 449
a. Primäre Bodenbildner. 449
b. Sekundäre Bodenbildner 450
c. Doppeltwirkende Bodenbildner 451
B. Regional und isotopisch verbreitete Bodenarten. 452
a. Typen des Eluvialbodens 452
b. Typen des Aufschüttungsbodens. 463
C. Umänderungen des Bodens 480
D. Aufeinanderfolge verschiedener Bodenarten und organische Reste in ihnen 486
E. Typen der Erdräume nach dem Gesichtspunkte der Bodenbildung 489
1) Regionen der autogenen Bodenbildung durch kumulative Gesteinszerstörung 489
2) Regionen des Ebenmasses von Zerstörung u. Fortschaffung 490
3) Regionen der überwiegenden Denudation 490
4) Regionen der überwiegenden Aufschüttung 492
5) Regionen der erodierten äolischen Aufschüttung . . . 493

Dreizehntes Kapitel: **Beobachtungen über Gesteine** . . 499
1) Die kristallinischen Schiefer 502
a. Die kristallinischen Schiefer des archaischen Zeitalters oder das Urgebirge 506
b. Die metamorphischen Gesteine. 507
c. Beobachtungen über kristallinische Schiefer im allgemeinen 511
2) Die sekundären Sedimentgesteine oder das Flözgebirge . 514
a. Beobachtungen über Gesteinscharakter 516
b. Beobachtungen über Schichtenverband 518
c. Beobachtungen über das geologische Alter. 522
3) Die Eruptivgesteine oder Erstarrungsgesteine. 523
Beobachtungen an granitischen Gesteinen 533
Beobachtungen an porphyrischen Gesteinen 538

Vierzehntes Kapitel: **Beobachtungen über Vulkane und jungeruptive Gesteine** 541
1) Haupttypen der jungeruptiven Gesteine 544
2) Verbreitung und Tektonik 557
3) Altersfolge der jungeruptiven Gesteine 561
4) Untersuchung eines Vulkans 565
a. Unterlage und Umgebung 565
b. Verhältnis zu anderen Vulkanen 566
c. Aeussere Gestalt und Zusammensetzung einfacher Vulkane 567
d. Zusammengesetzte Vulkankegel 570
e. Ausbruchsthätigkeit 572
5) Allgemeine Beobachtungen in vulkanischen Gegenden . . 574
a. Ausströmen von Dämpfen, heissem Wasser und Gasen 574
b. Zersetzungsprodukte 578
c. Anordnung und Ablagerung der Ausbruchsmassen . . 579

Seite

Fünfzehntes Kapitel: **Beobachtungen über den Bau der Gebirge** 582
A. Lagerungsformen des Schichtgebirges 583
1) Ursprüngliche Lagerungsformen 583
2) Einseitige Neigung der Schichten 585
3) Bruch und Absenkung 587
4) Bruch und seitliche Schiebung 595
5) Schichtenfaltung 597
6) Bruch und Ueberschiebung 600
B. Relative Ablagerungszeiten des Schichtgebirges 603
C. Die Zerklüftung der Gesteine 610

Sechzehntes Kapitel: **Die Hauptformen der Bodenplastik** 620
A. Die Hohlformen des Festlandes 623
1) Die Landsenken 627
2) Die tektonischen Thäler 628
a. Tektonische Faltungsthäler 629
b. Tektonische Absenkungsthäler 630
3) Die Skulpturthäler 634
B. Kategorien der Oberflächenformen 640
1) Tektonische Gebirge 643
a. Bruchgebirge oder Schollengebirge 643
b. Faltungsgebirge 649
2) Rumpfgebirge oder Abrasionsgebirge 658
3) Ausbruchsgebirge 666
4) Aufschüttungsgebirge 667
5) Flachboden 667
6) Erosionsgebirge 672
C. Elemente des äussern Gebirgsbaues 674
1) Der Gebirgsfuss 675
2) Die Kämme der Gebirge 676
3) Die Wasserscheide 684
4) Die Gebirgspässe 691
5) Die Passübergänge 693

Siebzehntes Kapitel: **Beobachtungen über nutzbare Mineralien** 697
1) Steinkohlenlagerstätten 698
2) Erzlagerstätten im festen Gesteine 703
3) Erzlagerstätten im Schwemmlande 710
4) Andere nutzbare Produkte des Mineralreiches 713

Sachregister 719

Erste Abteilung.

Einleitender Teil.

Das erste, was sich dem Blicke des Forschungsreisenden in fremdem Lande darbietet, ist die scheinbar unwandelbare Erdoberfläche in ihrer endlosen Mannigfaltigkeit der Gestaltung. Sie bildet den Boden, auf welchem er selbst sich bewegt; auf ihr fliessen die Gewässer; über sie hinweg strömt die Atmosphäre; sie ist, nebst dem von ihr getragenen Wasser, der Schauplatz aller, der biologischen Welt angehörigen, im Gegensatz zu ihrer eigenen Stabilität einem leicht erkennbaren Wechsel unterworfenen Faktoren. Der Pflanze dient sie zur Anheftung; das Tier ist auf sie angewiesen; der Mensch gründet auf ihr seine Wohnstätte. Das Verständnis ihrer Formen und ihrer Beschaffenheit ist daher die Grundlage für jedwede weitergehende geographische Erkenntnis. Der Forschungsreisende, auch wenn seine Ziele wesentlich auf anderen Gebieten liegen, sollte es daher als seine Fundamentalaufgabe betrachten, in so weiter Ausdehnung, als seine Befähigung und die ihm gebotene Gelegenheit es gestatten, Material für die wahre Kenntnis des seiner Beobachtung sich darbietenden Teiles der Erdoberfläche zu sammeln. Er wird bald gewahr werden, in wie hohem Masse der Wert seiner anderweitigen Untersuchungen dadurch erhöht wird; wie jede Thatsache, möge sie sich auf die Vegetation, auf die Verbreitung der Tiere, auf die Beschäftigungen, die Ansiedlungen und den Verkehr der Menschen beziehen, in den Bodenverhältnissen ihre ursächliche Begründung zum Teil oder gänzlich findet.

Zunächst fesseln den Blick die allgemeinsten äusseren Umrissformen des Bodens. Mit gespannter Aufmerksamkeit verfolgt der Seefahrer, welcher sich der Küste nähert, die allmähliche Entwicklung der Linien und Gestalten des Landes; und wer, nachdem er festen Boden erreicht hat, seinen

Blick über die ihn umgebenden Einzelheiten hinaus auf das Allgemeine zu richten vermag, der sucht die Verteilung von Berg und Thal innerhalb des Gesichtsfeldes in einem plastischen Gesamtbilde zu erfassen. Er misst mit dem Auge die Höhe und Steilheit der Gehänge, die Weite der Einsenkungen und Verebnungen. So erhält er einen Rahmen, in dessen einzelnen Teilen die Gegenstände anderer Beobachtungen sich gruppieren und eine örtliche Lage nach den Richtungen der Horizontale und der Vertikale annehmen. Deutlicher gestaltet sich das Bild, und noch reiner waltet darin das Element der Plastik, wenn man einen Höhepunkt besteigt und von ihm die umgebende Landschaft überschaut. Wer das erste Gebiet verlässt und sich nach einem andern hin bewegt, der erhält eine Reihe von neuen Bildern, welche sich aneinanderschliessen. Dem offenen und geübten Auge verketten sie sich zu einem einzigen zusammenhängenden Ganzen, welches die Bodenformen in einer bald weiteren, bald engeren, von dem Reisewege in ihrer Länge durchschnittenen Zone darstellt. Mit dem Anwachsen des Beobachtungsfeldes tritt eine Vermehrung der Gestaltungsmomente ein. Gewisse Formen kehren wieder; andere verschwinden; neue erscheinen.

Schon in diesem Stadium elementarster Beobachtung geht das Interesse über die Gestalt des Bodens hinaus; denn es knüpft sich an sie unmittelbar die Frage nach den Ursachen, welche der Verschiedenheit in den Formen zu Grunde liegen mögen. Wer zum Beispiel an einer Meeresbucht in einer von Bergen umschlossenen flachen Gestadelandschaft landet, oder wer auf einem Tafellande von Sandstein wandert, welches von Wasserrissen tief eingeschnitten ist, während Kuppen vulkanischen Gesteins der ebenen Fläche aufgesetzt sind, der erkennt sofort das Bestehen einer Reihe gestaltender Faktoren. Versucht man sie zu zergliedern, so zeigt es sich leicht, dass sie in drei Gruppen zerfallen. Die erste derselben bezieht sich auf die stoffliche Zusammensetzung. Der lockere Boden, welcher den tiefsten Teil der Thalweitung in der flachen Bucht ausfüllt, steht mit dessen Gestalt in eben so nahem Zusammenhange wie das feste, vielleicht in Falten aufgebogene Schichtgestein, aus dem die umgebenden Berge bestehen, mit deren äusseren Formen. In ähnlicher Weise werden im andern Falle die ebenflächigen Sandsteinschichten und das massige vulkanische Gestein die Beziehungen zu zwei verschiedenen Typen der Plastik erkennen

lassen: selbst der Härtewechsel der einzelnen Schichten des Sandsteines prägt sich äusserlich deutlich aus.

Die zweite Gruppe der Faktoren besteht in den Agentien, welche von aussen umgestaltend wirken. Man erkennt, dass Sand von derselben Beschaffenheit wie derjenige, welcher den Boden der flachen Bucht bildet, noch fortdauernd von der brandenden Meereswelle ausgeworfen und entweder durch Vegetation festgehalten oder vom Winde verweht wird. Wo hingegen an den die Bucht begrenzenden Vorsprüngen das unverhüllte Gestein in das Meer abfällt, nimmt man die Zerstörung wahr, welche die brandende Flut unablässig an ihm ausübt. Untersucht man die Gehänge, welche sich aus dem Thalboden erheben, so zeigen sie sich von Furchen verschiedener Gestalt durchzogen, an deren Vertiefung und Erweiterung das fliessende Wasser fortdauernd arbeitet. Die Felsgesteine sind an der Aussenfläche und entlang den sie durchsetzenden Kluftflächen angewittert, vielleicht auch in einen für die Vegetation günstigen Lehmboden umgewandelt, der zum Teil nach dem ebenen Grunde hinabgeführt wird und den Thalboden stellenweise bedeckt. Wie sich somit hier in dem steten Fortwirken verschiedenartiger dynamischer Vorgänge eine der Ursachen der wechselnden Oberflächenformen zu erkennen giebt, so wird sich dem andern Reisenden insbesondere die zerstörende Gewalt des fliessenden Wassers als ein Agens einprägen, welches im stande war, in das Tafelland tiefe Furchen einzugraben und dadurch dem Verkehre, der sonst ungehindert stattfinden könnte, schwer überwindliche Schranken zu setzen.

Die Frage nach der Entstehung der Massen selbst, welche die betreffenden Teile der Erdoberfläche zusammensetzen und die beobachteten Umgestaltungen durch äusserlich wirkende Kräfte erfahren haben, führt zur gesonderten Betrachtung der dritten Gruppe von Faktoren. Diese sind die fundamentalsten, indem sie das genetische Moment betreffen. Auch sie sind dynamischer Art und berühren sich mit den vorher genannten oft in solcher Weise, dass beide nicht getrennt werden können. Der Beobachter an der Meeresbucht fragt nach der Entstehung der umgrenzenden Berge. Nur der innere Bau vermag sie zu lehren; aus der Faltung der Schichten lassen sich Kräfte erkennen, welche nicht von aussen wirkten, sondern ihren Sitz innerhalb der Erdrinde selbst hatten. Er fragt weiter nach der Entstehung der tiefen Einsenkung zwischen den Bergen, welche

jetzt halb von trockenliegendem, lockerem Erdreiche, halb vom Meere ausgefüllt ist, und erkennt die Ursache entweder in einer Versenkung eines Teiles der Erdrinde, welcher innere Kräfte zu Grunde liegen, oder in der Wirkung äusserer zerstörender Agentien, oder in der Verbindung von Kraftäusserungen von beiderlei Art. Die Forschung ist bemüht, sie zu sondern und zu erkennen, wie einerseits der rohe Block hervorgebracht, andererseits dessen Ausmeisslung und Umgestaltung vollzogen wurde. Der Wanderer auf dem Tafellande überzeugt sich leicht, dass die Sandsteinschichten, aus denen es besteht, den Charakter der aus Wasser abgesetzten Sedimente tragen, und findet den Beweis dafür in eingeschlossenen organischen Resten. Aus Erfahrung oder durch Belehrung weiss er, dass die Kuppen von vulkanischem Gesteine nur durch das Emporsteigen von flüssigem Magma aus tieferen Regionen nach der Oberfläche entstanden sein können. Aber es werfen sich weitere Fragen auf: Wodurch ist das Tafelland trocken gelegt? Durch Rückzug des Meeres oder durch Aufsteigen eines Teiles der Erdrinde? Weshalb haben die Schichten in diesem Falle ihre Horizontalität bewahrt, während sie in den Bergen an der Meeresbucht zusammengefaltet sind? Wodurch wurde die Aufspaltung bewirkt, welche den Ausbruchsgesteinen die Wege anwies? Lässt sich ein Zusammenhang dieser Gesteine mit anderen erkennen, welche in benachbarten oder weiter entfernten Regionen emporgestiegen sind? Bestehen Beziehungen zwischen ihnen und den Abbrüchen und Abstufungen des Tafellandes oder mit anderen Wechseln der Bodenformen?

Was der forschende Geist mit dem Versuche der Lösung dieser und zahlreicher anderer sich aufdrängender Fragen erstrebt, ist das morphologische Verständnis der Erdscholle, über welche die Beobachtung sich erstreckt. Die Unterlage ergiebt sich durch die morphographische Kenntnis, d. h. durch die Festsetzung der reinen Gestalt, welche auf der Landkarte zur Darstellung gebracht wird. So wichtig und schwierig sie ist, sollte sie doch nur das Mittel zur Erreichung höherer Ziele sein. Zu diesen führt die Untersuchung nach den Gesichtspunkten der stofflichen Zusammensetzung, der fortdauernden Umgestaltung und der primären Entstehung. Physische Geographie und Geologie teilen sich in diese Aufgaben. Im allgemeinen fallen der letztern diejenigen Beobachtungen zu, welche sich auf die innere Zusammensetzung aus verschieden-

artigen Gesteinen, auf den innern Bau der Gebirge und die Entstehung dieses innern Baues beziehen; die physische Geographie untersucht die äusseren Umgestaltungen durch die mechanischen Wirkungen des bewegten Wassers, der bewegten Luft und des bewegten Eises, sowie die daraus und aus der Verwitterung und Lösung hervorgegangenen Gebilde und Gestalten. Vielfach miteinander verflochten und verwebt sind beiderlei Aufgaben. Ihre Sonderung hat lediglich theoretischen Wert und richtet sich in der Praxis bei Vertiefung der Studien nach der Art der Vorbildung des einzelnen; Vollkommeneres vermag derjenige zu leisten, welcher im stande ist, die verschiedenen Aufgaben miteinander zu verbinden.

Es ist der Zweck dieses Buches, eine vielfach auf des Verfassers eigene Erfahrungen gegründete Anleitung zu solchen Beobachtungen zu geben, welche geeignet erscheinen, zu einem morphologischen Verständnis der Erdoberfläche zu führen. Sie ist in erster Linie für den bestimmt, welcher, mit mässiger Vorbildung in der Geologie und physischen Geographie, die ihm dargebotene Gelegenheit einer Reise nach fremden Ländern oder eines längern Aufenthaltes in unzulänglich bekannten Gegenden, zur Vermehrung der Kenntnisse über dieselben nach den durch die genannten Wissenschaften vorgesteckten Zielen zu benutzen bestrebt ist. Ist auch dadurch eine elementare Behandlungsweise geboten, so findet doch vielleicht auch der Vorgeschrittene manchen brauchbaren Wink. Es erschien zweckmässig, die auf die Kartenaufnahmen, sowie auf meteorologische und biologische Beobachtungen bezüglichen Aufgaben hier nur in einleitender Form und insoweit heranzuziehen, als sie unmittelbare Beziehung zur Morphologie der Erdoberfläche haben, da diese Gegenstände in dem Werke (Neumayers „Anleitung"), welchem das vorliegende Buch entsprungen ist, umständliche Behandlung finden. Aus demselben Grunde ist hier auf die Erdbebenforschung nicht eingegangen worden.

Erstes Kapitel.

Reisevorbereitung und Reisemethoden.

§ 1. Der Erfolg einer Forschungsreise hängt in erster Linie von dem Unternehmungsgeiste des Reisenden, von seiner natürlichen Veranlagung zu Beobachtungen und von der erworbenen Befähigung zu deren Verwertung ab. Sein wichtigstes Instrument ist das Auge. Vorkenntnisse weisen diesem die Bahnen des Gebrauches an, Uebung führt zu der richtigen und zweckmässigen Art seiner Anwendung. Künstliche Instrumente, soweit sie nicht für die astronomische Festlegung von Ortslagen und die Beobachtung meteorologischer Elemente dienen, sollten wesentlich dazu bestimmt sein, das Auge zu unterstützen und den Wahrnehmungen durch die Anwendung von Mass und Zahl eine festere Gestalt zu geben. Aber man sollte sich dessen wohl bewusst sein, dass die Instrumente, mit den genannten Ausnahmen, für denjenigen, welcher nicht eine durch Uebung geschärfte Beobachtungsgabe besitzt, von beschränktem Nutzen sind. Von grösserer Wichtigkeit ist die Aneignung von Vorkenntnissen. Wer dieselben nicht besitzt, wird sich bei der Rückkehr von einer Reise mit Bedauern bewusst werden, dass er die fruchtbarsten Gesichtspunkte nicht berücksichtigt hat. Nur in geringem Grade können sie durch eine Anleitung, wie die vorliegende, ersetzt werden. Von hoher Bedeutung ist die materielle Ausrüstung. Der Mangel eines einzigen, scheinbar geringfügigen Gegenstandes kann den Reisenden vollkommen lahmlegen und ihm die Gelegenheit zu den wichtigsten Forschungen abschneiden. Die Ausrüstung wird daher zu einem

der wesentlichsten wissenschaftlichen Hülfsmittel und soll aus diesem Grunde hier ebenfalls erörtert werden.

1. Vorkenntnisse und litterarische Hülfsmittel.

Je umfassender und vollkommener die wissenschaftliche § 2
Vorbildung eines Reisenden ist, desto höher können selbstverständlich, bei gleichem Masse von Beobachtungsgabe, seine Leistungen sein, und desto mehr werden dieselben durch praktische Erfahrung und Uebung gesteigert werden. Indessen sollte auch derjenige, welcher sich auf den Gebieten der Geologie und physischen Geographie geringere Kenntnisse angeeignet hat und das Schwergewicht seiner Untersuchungen in andere Gebiete der Wissenschaft verlegt, oder auch nur eine topographische Rekognoszierung beabsichtigt, vor den scheinbaren Schwierigkeiten nicht zurückschrecken; denn manche elementare Beobachtungen und nutzbare Wahrnehmungen lassen sich mit einem verhältnismässig geringen Grad von Vorkenntnissen ausführen. Mit offenem Auge für die Erscheinungen, bei gleichzeitiger, fleissiger Anwendung von Mass und Zahl, vermag jeder die geographische Kenntnis im weitesten Sinne durch Vermehrung des Thatsachenschatzes zu fördern, sowie durch verständiges und planmässiges Sammeln von Gesteinsstücken Bausteine zur geologischen Länderkunde zu liefern.

Die Erlernung der Methoden astronomischer Ortsbestimmungen ist dann unumgänglich notwendig, wenn der Reisende sich in Länder begiebt, wo Arbeiten dieser Art, selbst in der unvollkommenen Ausführung, mit der er sich in der Regel begnügen muss, für die Konstruktion der Karte erforderlich sind, was z. B. noch immer für grosse Teile von Afrika gilt. In diesem Falle kann er nicht genug Sorgfalt darauf wenden, sich unter bewährter Anleitung mit dem Gebrauche der Instrumente und den Methoden der Beobachtung und Berechnung völlig vertraut zu machen. Auch sollte man möglichst gute Instrumente mitnehmen, um relativ zuverlässige Resultate zu erzielen. Wo hingegen die Notwendigkeit nicht vorliegt, sollte man sich dieser Arbeit gänzlich entschlagen, um die Kräfte auf andere Aufgaben zu konzentrieren. Da gerade für die Ausführung astronomischer Ortsbestimmungen besondere Anleitungen in grösserer Zahl geschrieben worden sind, ist in dem vorliegenden Buche auf diesen wichtigen Gegenstand keine Rücksicht genommen worden. (S. auch § 13.)

Die Erlernung der Aufnahme von Karten des Reiseweges oder von topographischen Skizzen einzelner Gegenden ist jedem zu empfehlen. Es gehört dazu die Kunst der graphischen Darstellung der Bodenplastik (§ 18), welche man sich autodidaktisch aneignen kann. Nur in den Ländern, von denen Generalstabskarten in grossem Massstabe existieren, kann man von dieser Arbeit absehen.

Das Studium der Geologie in ihren verschiedenen Zweigen, der Gesteinskunde, der Versteinerungskunde, der Lehre von den Lagerungsverhältnissen der Gesteine und der dynamischen Geologie ist, ebenso wie dasjenige der physischen Geographie in ihren Unterabteilungen der Festlandskunde oder Orologie, der Oceanologie und der Klimatologie, in unsrer Zeit ausserordentlich umfassend geworden, und es ist dem einzelnen kaum möglich, in dem gesamten Bereiche dieser Wissenschaftszweige so weit heimisch zu werden, dass er in jedem von ihnen durch eigene Forschung vertiefend zu wirken, oder auch nur der grossen Fülle von Arbeiten mehr als in den allgemeinsten Zügen zu folgen vermag. Hinsichtlich der Aneignung von Kenntnissen auf diesen Gebieten bedarf es kaum eines Winkes für denjenigen, welchem sich die Gelegenheit dazu auf Universitäten darbietet. Wer sich auf ihnen zu einem Forschungsreisenden heranzubilden wünscht, sollte sich eine möglichst breite Grundlage aneignen. Wer sich aber einem der genannten Zweige speziell zu widmen beabsichtigt, dem kann, neben dieser Verallgemeinerung des Studiums, nicht genug anempfohlen werden, diejenigen Disciplinen zu erlernen, welche die methodische Basis des betreffenden Wissenschaftszweiges bilden. Wie der Anthropologe und Ethnologe in der Anatomie und Physiologie und mindestens in den Grundlagen der allgemeinen Geologie und der allgemeinen Sprachwissenschaft zu Hause sein sollte, so bedarf der Paläontologe des Studiums der Zoologie und Botanik, der Geologe und Petrograph desjenigen der Physik und Chemie. Wer sich der physischen Geographie widmet, sollte sich ebenfalls die Kenntnis der beiden letztgenannten Wissenschaften aneignen, um die Geologie zu verstehen und in den Gebieten der Geophysik, der Meteorologie und der Oceanologie heimisch werden zu können. Je allgemeiner dies beherzigt wird, desto mehr ist zu hoffen, dass die physische Geographie durch wissenschaftliche Reisende einen Schatz vertiefter und exakter Beobachtungen erhalten wird, um die mannigfaltigen in

ihr sich darbietenden Probleme auf breiter Vergleichungsgrundlage lösen zu können und zu einer gesicherten Basis der biologischen Geographie und der Anthropogeographie im weitesten Sinne heranzuwachsen.

Wer in der glücklichen Lage ist, sich die hier bezeichnete Ausbildung angeeignet zu haben, kennt seine Aufgaben; allerdings nach beendigter Studienzeit zunächst nur gewissermassen virtuell; zu ihrer aktuellen Erfassung und dem Auffinden neuer Probleme gelangt auch er erst durch die praktische Ausübung der Beobachtung. Die Mehrzahl der Forschungsreisenden und derjenigen, welche in wenig erforschten Ländern leben, befindet sich nicht in dieser Lage. Ihre Aufgabe ist es, die Vorbildung zu ergänzen oder überhaupt nachzuholen. Dies ist in manchen Gebieten nicht schwierig. So bedeutende geistige Kraft dazu gehört, um in der Meteorologie und Klimatologie Neues zu schaffen, kann man sich doch den Bestand der Kenntnisse und Auffassungen leicht soweit aneignen, um ein Verständnis für die atmosphärischen Vorgänge und dadurch ein Interesse für die eigenen meteorologischen Beobachtungen zu gewinnen. Während hierzu, ebenso wie für die Oceanographie und die Probleme der Geophysik, das Studium von Büchern hinreichend ist, gilt dies nur zum Teile für die Geologie. Für jeden Forschungsreisenden, welcher zur morphologischen Kenntnis eines Landes etwas beizutragen wünscht, ist die Bekanntschaft mit den verbreitetsten Gesteinen und den Altersstufen der Erde, ebenso wie das Verständnis der gebräuchlichsten geologischen Ausdrücke, unbedingt erforderlich. Das letztere kann man sich durch das aufmerksame Lesen leichtfasslich geschriebener Bücher, in denen die natürlichen Verhältnisse bildlich dargestellt sind, erwerben. Die Gesteine aber und die richtige Anwendung ihrer Namen vermag man nur an charakteristischen Handstücken in Sammlungen zu erlernen; unter kundiger Anleitung und durch fleissiges Studium kann man sich die wichtigsten derselben ohne grosse Schwierigkeit einprägen. Auch ist es zweckmässig, eine eigene, auf das Wichtigste beschränkte Sammlung anzulegen und an deren Hand die betreffenden, allgemein verständlichen Werke mit Sorgfalt zu lesen. Wer sich des ABC in der Geologie unkundig erweist, indem er beispielsweise (wie dies nicht selten in Reisewerken geschieht) einen Sandstein oder Trachyt, weil sie körnig sind, als Granit beschreibt, oder jeden versteinerungsreichen Kalkstein als Muschelkalk bezeichnet, oder

jede kesselförmige Vertiefung einen Krater nennt, der kann höchstens durch Sammeln etwas leisten; aber seine aufgezeichneten Beobachtungen werden verlorene Mühe sein.

§ 3. Die Leichtigkeit, mit der man sich einen grossen Teil des Wissenswürdigen in der Geologie aneignen kann, führt zu einer gefährlichen Klippe, an welcher viele scheitern. Sie besteht in der Versuchung, welche die Geologie zu weitgehenden theoretischen Schlussfolgerungen bietet. Der Laie ist zu denselben am meisten geneigt, und kaum minder sind es diejenigen, welche entweder ausschliesslich im Felde, oder ausschliesslich im Studierzimmer (besonders am Tische des chemischen Laboratoriums) gearbeitet haben. Die Vorsicht wächst mit der Kenntnis und Erfahrung, und die Schlussfolgerungen von höheren Gesichtspunkten aus sollten denen überlassen bleiben, welche neben einer ausgedehnten Uebung im Felde die Fähigkeit zu gründlichem Arbeiten im Studierzimmer erlangt haben. Je reiner sich die Beobachtung von der Theorie hält, desto wertvoller ist sie. Dies kann nicht genug beherzigt werden. Nur wer vollkommene Vorbildung besitzt, vermag nach dem leuchtenden Vorgange von Alexander von Humboldt, Leopold von Buch, Sir Charles Lyell und Eduard Suess von dem gesicherten Boden der Einzelbeobachtung aus sich zu grossen und allgemeinen Gesichtspunkten zu erheben. Auch die gründliche Kenntnis in anderen Naturwissenschaften kann einen gross angelegten Geist zu weittragenden und sehr wichtigen Schlussfolgerungen auf den Gebieten der physischen Geographie und Geologie berechtigen, wenn er diese als Nebenzweige des Studiums hinreichend beherrscht. Dies zeigen die Musterreisewerke von Charles Darwin, William Hooker und Alfred Russell Wallace. Als ein Vorbild für diejenigen, welche keine Gelegenheit haben, den Mangel einer ausreichenden wissenschaftlichen Vorbildung in der Heimat nachzuholen, aber doch den dauernden Aufenthalt in einem wenig bekannten Lande zu dessen gründlicher Erforschung zu benutzen bestrebt sind, kann Franz Junghuhn hingestellt werden, welcher als Arzt nach Java kam und sich durch selbsterworbene Kenntnisse und ausgezeichnete Beobachtung zu einem hohen Range unter den Koryphäen auf dem Gebiete der physischen Geographie aufgeschwungen hat.

§ 4. Als geeignete Werke zur allgemeinen Vorbildung können empfohlen werden:

Hann, Hochstetter und Pokorny. Allgemeine Erdkunde. 4. Auflage. Prag und Leipzig 1884, 1885 (kleine Handausgabe, besonders die zwei ersten Abteilungen).

H. Credner. Elemente der Geologie. 5. Auflage. Leipzig 1883.

Al. Supan. Physische Geographie. Leipzig 1884.

Diese Werke tragen den neuesten Standpunkten Rechnung und sind ausreichend.*) Wer die Litteratur über einige der in den nachfolgenden Kapiteln behandelten Gegenstände kennen lernen will, um in deren Studium tiefer einzudringen, findet die reichhaltigste Zusammenstellung, neben eingehender Erörterung der betreffenden Gegenstände selbst, in

S. Günther. Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie. 2 Bände. Stuttgart 1884 und 1885.

Einige wenige speziellere Werke werden weiterhin an den geeigneten Stellen genannt werden. Hier mögen noch solche Bücher Erwähnung finden, welche besonders dazu bestimmt sind, dem Reisenden Anleitung zur Forschung zu geben:

Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen, herausgegeben von G. Neumayer. Die erste Auflage dieses von mehreren Gelehrten verfassten Werkes erschien in Berlin bei Robert Oppenheim 1875. Eine zweite Auflage ist im Jahre 1887 erschienen.

Kaltbrunner. Der Beobachter (deutsche Ausgabe von Kollbrunner). Zürich 1882. Ein Werk, welches wegen seiner einheitlichen, die verschiedensten Beobachtungssphären gleichmässig berücksichtigenden Durchführung und seiner vielfachen praktischen Anleitung zu rühmen ist.

Hints to travellers, by H. H. Godwin Austen, J. K. Laughton *and* D. W. Freshfield. 5th ed. London Stanford 1883. In diesem kleinen Buche ist der Schwerpunkt auf eine Anleitung zur Vermessung und astronomischen Ortsbestimmung gelegt, welche zwei Dritteile des Ganzen einnimmt und wegen ihrer prak-

*) Von Werken in fremden Sprachen sind zu nennen:

A. de Lapparent. *Traité de Géologie.* Paris 1883. Mehrere Abschnitte der physischen Geographie finden in diesem Werke ausführliche Berücksichtigung.

A. H. Green. *Physical Geology.* London 1882.

Arch. Geikie. *Textbook of Geology.* 2d ed. London 1884.

J. D. Dana. *Manual of Geology.* 3d ed. Newyork 1879.

tischen Gesichtspunkte sehr zu empfehlen ist. Die Beobachtungswissenschaften sind gänzlich unzureichend behandelt. Dagegen findet der Reisende beherzigenswerte Winke über Heilmittel und Ausrüstung.

Archibald Geikie. *Outlines of Field-geology.* 2d. ed. London 1879. Dieses kleine, elementar geschriebene Werk des berühmten Direktors der geologischen Aufnahmen in Grossbritannien ist zwar zunächst für dieses Land bestimmt, kann aber auch für weitere Zwecke gute Dienste leisten.

2. Ausrüstung für wissenschaftliche Arbeit.

§ 5. Die Ausrüstung für eine wissenschaftliche Reise richtet sich nach den Zwecken derselben und kann daher sehr verschieden an Art und Umfang sein. Der Reisende sollte sich seiner Ziele klar bewusst sein. Wenn in diesen geodätische Operationen und Ortsbestimmungen eine wesentliche Stelle einnehmen, so sind eine Anzahl umfangreicher, zum Teil schwer zu transportierender und kostbarer Instrumente erforderlich. Da die betreffenden Arbeiten in dem vorliegenden Buche keine Stelle finden, so bleiben auch jene unberücksichtigt. Es kommt hier nur auf diejenige Ausrüstung an, welcher der Reisende für die in den nachfolgenden Kapiteln erörterten Beobachtungen notwendig bedarf. Sie besteht aus wenigen, leicht zu beschaffenden Gegenständen. Hammer, Kompass und Aneroid sind das Handwerkszeug, ohne welches geologische Arbeit nicht ausgeführt werden kann. Nächst einem Notizbuche ist ausser ihnen nicht viel notwendig.

Der Hammer muss besonders für den Zweck gefertigt sein. Von seiner Beschaffenheit hängt viel ab. Mit einem schlechten hat man doppelte Arbeit, erhält unvollkommene Handstücke und unterlässt oft das Sammeln; er nutzt sich leicht ab, wird dann beinahe unbrauchbar, und man hat viel Verdruss. Der dazu verwendete Stahl muss die grösste Härte besitzen, welche sich ohne zu grosse damit verbundene Sprödigkeit erreichen lässt. Seiner Herstellung sind nur einzelne, besonders geschickte Stahlschmiede fähig, und gute Hämmer sind eine Seltenheit. Von nicht geringer Wichtigkeit ist die Form des Hammers, und in dieser Hinsicht gehen die Ansichten weit auseinander. Es giebt eine Berliner, Wiener, schweizerische, italienische, englische,

indische, kalifornische u. s. w. Form, und jede Schule hält die ihr eigentümliche für die beste. Nachdem ich mich periodisch verschiedener Hämmer bedient habe, bin ich bei dem von Prof. J. D. Whitney bei den geologischen Aufnahmearbeiten in Kalifornien eingeführten stehen geblieben, da er den wirksamsten Schlag und die genaueste Arbeit gestattet. Als Regeln haben zu gelten: ein Ende ist scharf, das andere stumpf; die Schneide des Keilendes ist dem Stiele parallel; das stumpfe Ende ist parallelepipedisch (nicht abgestutzt-pyramidal, wie in den meisten Fällen); die Endflächen desselben (also auch der Querschnitt des Hammers am stumpfen Ende) ist ein Rechteck, dessen

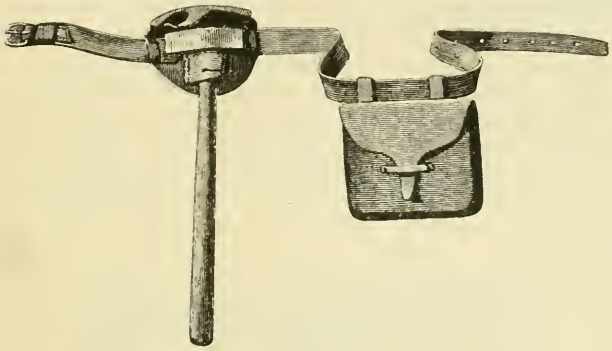

Fig. 1.

längere Seiten dem Stiele parallel sind; als das günstigste Grössenverhältnis fand ich 25 und 28 mm für die vier Seiten des Rechtecks und 108 mm für die ganze Länge des Hammers; das Centrum der Durchbohrung für den Stiel muss mit dem Schwerpunkte zusammenfallen, und dieselbe muss oben weiter sein als unten, damit, wenn das obere Ende des Stieles verkeilt ist (mit hölzernem oder mit Widerhaken versehenem, eisernem Keile), der Hammer bei dem Gebrauche nicht herausfliege; der Stiel muss ungefähr 40 cm lang, vom zähesten und bärtesten Holze gearbeitet (z. B. amerikanischem Hickoryholz) und am Ende so abgerundet sein, dass er zu sicherem Schlage bequem in der Hand ruht. Es ist gut, einige Reservestiele und -keile mit sich zu führen. Man trägt den Hammer

entweder in einem ledernen Futterale, das an einem Leibriemen auf der linken Seite des Körpers angebracht ist (s. Fig. 1), oder an der Seite der ledernen Umhängetasche. — Der hier beschriebene Hammer ist besonders dann zu empfehlen, wenn man nicht mehr als einen für eine längere Reise mitzunehmen in der Lage ist. Hat man mehr Raum und Gewicht zur Verfügung, so thut man gut, Hämmer von verschiedener Grösse bei sich zu führen: einen kleinen für beschwerliche Bergbesteigungen und für solche Gegenden, in denen man selten in den Fall kommt, den Hammer überhaupt zu gebrauchen; einen grossen und schweren zum Zweck des Zertrümmerns von Gesteinblöcken, besonders bei dem Sammeln von Versteinerungen zu verwenden; er ist zweckmässig an beiden Enden abgestumpft. Auch ist oft ein Hammer von längerer Form und mit einer rechtwinklig zum Stiel stehenden Schneide dienlich, besonders zum Schürfen in Boden und Schutt.

Der Kompass sollte so eingerichtet sein, dass er zu verschiedenen Zwecken dient, und in Anbetracht seiner Wichtigkeit von vorzüglichster Konstruktion sein. Erst bei einem Durchmesser des Teilungskreises von mindestens 6—7 cm kann die wünschenswerte Genauigkeit der Gradteilung und Ablesung erreicht werden. Uhrförmige Instrumente sind nur ein unvollkommener Notbehelf Das runde Gehäuse sollte auf einer quadratischen Messingplatte so befestigt sein, dass die *N*-*S*-Linie einer Seite parallel ist, und das ganze Instrument in einem genau gearbeiteten Holzkasten liegen, so dass bei dem Aufklappen desselben eine 15—16 cm lange Seite der *N*-*S*-Linie des Teilungskreises parallel ist. Man hat dann nur diese Seite derjenigen Linie parallel zu halten, deren Abweichung von dem magnetischen Meridiane bestimmt werden soll, und kann das Resultat unmittelbar mit grosser Schärfe an der Stellung der Nadel ablesen. Die letztere sollte stets stabförmig und der Kreis in 360 Grade geteilt sein. Doch ist auch eine Teilung jedes Quadranten in 90 Grade, wobei die Nullpunkte mit den Polen zusammenfallen, praktisch. Früher teilte man den geologischen Kompass in die bergmännisch gebräuchlichen 24 oder zweimal 12 „Stunden“ ein; dies ist heute zum Teil noch gebräuchlich, muss aber als ganz ungenügend bezeichnet werden, da die Ablesungen auf einen Grad genau geschehen müssen.

Die angegebene Methode der Ablesung ist besonders bei Streichrichtungen anstehender Schichtgesteine oder eines Ganges

anzuwenden. Sie ist ungenügend, wo die Richtungslinie von dem Standpunkte des Beobachters nach einem entfernteren Gegenstande, z. B. dem Gipfel eines Berges, bestimmt werden soll. Dazu muss an dem Kompasse eine Azimutvorrichtung angebracht sein. Ein einfaches Visier zum Aufklappen, bestehend in einem senkrecht stehenden, mit einem Schlitze versehenen Stäbchen am Südende und einem ebenso gestellten, mit einem Faden, am Nordende der Gradeinteilung, ist vollkommen zweckentsprechend. Am Boden kann eine Vorrichtung zum Aufschrauben auf ein Stativ angebracht sein.

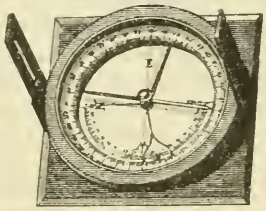

Fig. 2.

In England wendet man häufig den sogenannten prismatischen Kompass an. Die Nadel trägt ein rundes Kartenblatt mit Gradeinteilung, und letztere wird, vergrössert, durch ein Prisma abgelesen. Da jedoch die Ablesung nur durch letzteres geschehen kann, und die Nadel mit ihrer Belastung sehr langsam schwingt, so sind diese Instrumente besonders dann brauchbar, wenn man den

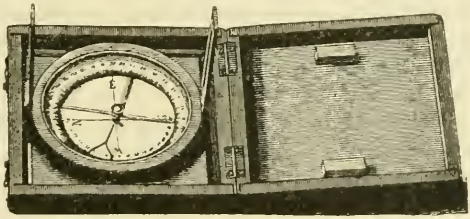

Fig. 3.

Kompass fest und in einer für diese Art des Ablesens bequemen Lage aufstellen kann; da dies sehr häufig nicht möglich ist, so beeinträchtigt man auf Reisen leicht die Genauigkeit, welche die Methode zu erhöhen bestimmt ist.

An jedem geologischen Kompasse befindet sich ein Klinometer, um den Winkel zu bestimmen, den eine geneigte Linie oder Fläche mit dem Horizonte bildet. Die Genauigkeit der

Bestimmung wird um so grösser sein, je länger die gerade Linie des Instrumentes ist, welche man in die zu bestimmende Neigung zu bringen vermag. Fällt der Nullpunkt des Klinometers mit dem *W*- oder *O*-Punkt des Kompasses zusammen, so kann man die sechszöllige Seite des geöffneten Kästchens (s. Fig. 3) zum Anlegen auf einer geneigten Schichtfläche benutzen und sehr befriedigende Resultate erhalten. Will man aber die Neigung einer im Profil gesehenen sanften Böschung oder der Gehänge eines vulkanischen Kegels messen, so hält man die untere Langseite des Kastens so, dass sie mit der Profillinie zusammenfällt, und wird, wenn man das Mittel aus zwei oder drei Ablesungen nimmt, das Resultat bis auf einen halben Grad genau bekommen können.

Der mit Azimutvorrichtung und Klinometer versehene Kompass wird am zweckmässigsten in einer am Leibgurte verschiebbaren Ledertasche auf der rechten Seite getragen (s. Fig. 1). Man thut gut, zur Reserve wie zum Gebrauch bei solchen Gelegenheiten, wo geringere Genauigkeit erforderlich ist, einen gewöhnlichen uhrförmigen geologischen Kompass mitzunehmen.

Das nächst wichtigste Instrument ist das Aneroid, um, ausser jenen Höhenbestimmungen, die für das Relief der Gegend wichtig sind, auch fortdauernd kleine Höhendifferenzen zu beobachten, und dadurch die Mächtigkeit von Schichtengruppen, die Erhebung einer Schotterterrasse über die Thalsohle oder alter Küstenränder über dem Meere, die Tiefe von Schluchten, die Höhe, bis zu welcher Gletscher oder Lavaströme herabreichen, das Gefälle von Gebirgsbächen und vieles andere, das sich der Beobachtung ohne Unterlass bietet, sogleich zu bestimmen. Den besten Dienst thut ein kleines Instrument in Gestalt einer Uhr, das man an einer um den Hals geschlungenen Schnur in einer etwas höher als die Uhr angebrachten Westentasche trägt. Dort ist es Störungen am wenigsten ausgesetzt und bewahrt am gleichmässigsten die Temperatur; zugleich auch hat man es stets bequem zur Hand. Der Reisende sollte aber niemals ohne zwei andere kontrollierende Aneroide sein. Der Gang eines jeden muss auf das genaueste bekannt und in Tabellen niedergelegt sein.*) Erfährt ein Instrument einen Stoss,

*) Mit sehr dankenswerter Zuvorkommenheit hat in wiederholten Fällen die Direktion der Deutschen Seewarte in Hamburg die Prüfung und die Feststellung des Ganges von Aneroiden übernommen.

wie es bei längeren Reisen unvermeidlich vorkommt, so vergleicht man es sofort mit den anderen und notiert, falls es seinen Gang verändert hat, die von nun an bis auf weiteres konstant bleibende Abweichung. Da man zuweilen bei zwei Aneroiden eine grössere Differenz im beiderseitigen Stande beobachtet als sie vorher hatten, ohne die Veranlassung zu kennen und ohne daher zu wissen, welches von beiden seinen Gang geändert hat, so ist ein drittes Instrument erforderlich, dessen Vergleichung sofort zeigt, wo und wie gross der Fehler ist. Sind auch Unfälle dieser Art bei sorgfältiger Behandlung selten, so sind sie doch nicht zu vermeiden (z. B. bei einem Falle, dem Umstürzen des Wagens, dem Abwerfen des Gepäckes durch Lasttiere u. s. w.). Ein einziges Aneroid ist deshalb gänzlich wertlos. Die Mitnahme eines zweiten bietet einige Garantie; aber nur wenn ihrer drei sind, kann man die Fehler ganz eliminieren. — Die Reserve-Aneroide packt man mitten in Wäsche hinein, wo sie recht gut geschützt sind. — Am besten ist es natürlich, ein Quecksilberbarometer zur Vergleichung bei der Hand zu haben. Bei langen geologischen Landreisen ausserhalb Europa ist jedoch ein solches Instrument oft schwierig zu transportieren; man muss stets auf seinen Verlust gefasst sein und daher auch neben demselben noch die Dreizahl der Aneroide beibehalten. — An Stelle des Quecksilberbarometers empfiehlt es sich, ein Kochthermometer mitzunehmen, um es häufiger und in verschiedenen Meereshöhen mit den Aneroiden zu vergleichen.

Reist man in Gegenden, wo meteorologische Stationen bestehen, so wird man von Zeit zu Zeit Normalinstrumente zur Vergleichung benutzen können. Sind erstere nicht vorhanden, so sollte man ein Stationsbarometer mitnehmen, welches man an der Hauptstation oder an Bord des Schiffes zurücklässt. Wo es irgend zulässig ist, sorgt man für dessen beständige Ablesung, um eine Basis zur Berechnung der Höhenmessungen zu erlangen.

Der Gebrauch des Aneroids wird wesentlich vervollständigt durch ein Horizontglas, eine ungefähr 20 cm lange Röhre, an deren einem Ende sich ein kleines rundes Visier befindet, während am andern in der Mitte der Oeffnung ein Faden gespannt ist. Durch eine prismatische Vorrichtung sieht man, wenn das Instrument genau horizontal steht und der Faden

Beides ist bei Beginn und bei Abschluss einer Reise auszuführen; ausserdem ist der Stand der Aneroide mit einem Normalbarometer so häufig als möglich zu vergleichen.

ebenso gerichtet ist, eine in einer kleinen Libelle befindliche Luftblase, sobald sie in der Mitte steht, von einem zweiten am Prisma angebrachten Faden durchschnitten. Der erste Faden bezeichnet alsdann den Horizont. Beobachtet man nun von einem Punkte, dessen Höhe das Aneroid anzeigt, den Horizont ringsum, so lassen sich manche hypsometrisch oder geologisch interessante Niveauverhältnisse sofort erkennen. Bei einem mehrgipfligen Gebirge z. B. kann man, wenn man einen Gipfel bestiegen hat, die Höhe der anderen annähernd durch Schätzung bestimmen, wenn man beobachtet, wo die Horizontlinie sie schneidet.*)

Betreffs der Instrumente zur Messung von Temperatur und Feuchtigkeit ist Näheres in § 20 angegeben.

Der Reisende braucht notwendig eine aus starkem Leder fest genähte Tasche, die an einem über die Schulter geschlungenen Riemen an der Seite getragen und nicht, gleich anderen Sachen, den Trägern oder Führern übergeben wird. Er findet sich von diesen häufig isoliert und muss Fundstücke von Gesteinen wenigstens eine Weile selbst zu transportieren bereit sein, ausserdem aber die Instrumente, ein Skizzenbuch und Notizbuch stets zur Hand haben. Auch darf es nie an einer Quantität weichen Packpapiers fehlen, um vorkommenden Falls eine Menge von Steinen hineinzuwickeln. Hinsichtlich der Form der Notizbücher hat jeder seine Liebhaberei; doch sollte man ein möglichst einfaches Buch stets in der Rocktasche bei sich tragen, um es jederzeit zu rohen Aufzeichnungen und flüchtigen Bemerkungen zur Hand zu haben. Ein Format von ungefähr 18 × 11 cm ist für das Einzeichnen von Skizzen zweckdienlich.

Den kleinen, höchst unbedeutend erscheinenden und doch sehr beherzigenswerten Wink möchte ich hinzufügen, dass der Reisende stets einen guten langen Bleistift, an einer Schnur befestigt, um den Hals trage, weit genug herabhängend, um ihn mit Bequemlichkeit zu gebrauchen. Fortdauerndes Notieren ist das Wesen genauer Aufnahmen, und vielfache Erfahrung hat mir gezeigt, dass man mehr als doppelt soviel notiert, wenn man den Bleistift bei der Hand hat. Ist die Mühe, ihn anderswo hervorzuholen, noch so gering, so ist dies doch hinreichend, um oft einen Aufschub und dadurch eine Vernachlässigung der Notiz zu veranlassen. Ein einziges Wort, kaum leserlich in das Rohbuch eingeschrieben, ist häufig hinreichend, um am Abend im Tage-

*) Das Horizontglas *(handlevel)* ist ein in den Vereinigten Staaten viel benutztes Instrument. In Deutschland kennt man es wenig. Nach dem Muster des meinigen, welches aus Boston stammt, ist eines recht gut von der Firma Bonsak in Berlin gearbeitet worden. Ein Azimutkompass nach dem oben beschriebenen, ebenfalls aus Amerika stammenden Muster wurde von Linke in Freiberg angefertigt.

buche zu einer längern Beschreibung ausgesponnen zu werden, deren Abwesenheit man später sehr empfinden würde.

Aus dem vermittelst der angegebenen einfachen Utensilien gesammelten Materiale von Gesteinsproben, sowie von vorläufig aufgezeichneten Beobachtungen, wird am Abend jedes Tages das Tagebuch mit Gewissenhaftigkeit und Ausführlichkeit mittelst Feder und Tinte geschrieben; zugleich werden die kartographischen, geologischen und landschaftlichen Skizzen mit mehr Sorgfalt ausgeführt. Das Tagebuch sollte in Grossoktav- oder Quartformat sein. Bei Einzeichnungen wird es jedem zu statten kommen, farbige Stifte mit sich zu führen, um sie für Unterscheidungen von Gesteinen, Bodenarten, Terrainstufen, Kulturland etc. sofort anzuwenden. Auch ein Farbenkasten ist erforderlich, um Bezeichnungen ähnlicher Art gleich auf der Karte aufzutragen. § 6.

Dies ist alles, was der Reisende zum Zwecke der Forschungen auf geologischem und physisch-geographischem Gebiete notwendig braucht. Je nach Bedürfnis wird mancher noch mehr mit sich führen. Wer darauf ausgeht, an Orten, von denen das Vorkommen von Versteinerungen bekannt ist, grössere Sammlungen anzulegen, der wird eine Keilhaue, einen schweren Hammer, einige Meissel und andere Instrumente mitnehmen. Wer beabsichtigt, an Ort und Stelle Untersuchungen von Mineralien und Erzen auszuführen, der belastet sich vielleicht mit einem Lötrohrapparate, Mikroskop und Reagenzkasten, wird aber davon wenig Gebrauch machen können, wenn er nicht an einzelnen Orten einen längern Aufenthalt nimmt. Will man geologische Karten anfertigen und muss man die topographische Grundlage dazu selbst konstruieren, so hat man alles mitzunehmen, was dazu gehört (s. § 14 ff.).

Ein wichtiger Teil der allgemeinen Ausrüstung, der aber nach den Bedürfnissen sehr verschieden sein wird, betrifft Karten und Bücher. Von Karten sollte der Reisende, der nur einigermassen geographisch und geologisch zu beobachten gedenkt, das beste, was von dem betreffenden Lande existiert, fortwährend bei sich führen, um Einzeichnungen zu machen und sich über den weitern Verlauf der Flüsse und Gebirge, welche er sieht, zu orientieren. Die Bücher teilen sich in zwei Klassen. Denn einerseits besitzt der Reisende eine Bibliothek, die er an Bord oder an Orten, wo er sich länger aufhält, mit Musse studiert. Hier wird der Laie seine Lehrbücher, der Geograph

und Geolog von Fach seine spezielleren Nachschlagewerke haben. Auf Reisen im Innern eines Landes aber sollte man sich möglichst beschränken. Existieren bereits wissenschaftliche Arbeiten über dasselbe, so sollte man sie mit sich führen, denn sie regen ausserordentlich an. Ausserdem aber genügen kurze Kompendien, in denen man zeitweise sein Gedächtnis auffrischen kann. Zum Studium ist in der Regel keine Zeit; und der Laie mühe sich nicht damit ab, unterwegs nach Beschreibungen Gebirgsarten kennen lernen oder bestimmen zu wollen. Er würde sicher auf Irrwege geraten. Wer vorher die gewöhnlichen Gebirgsarten nicht zu unterscheiden weiss, der kann es unter solchen Verhältnissen aus dem besten Buche nicht lernen und handelt weit richtiger, keine Namen anzuwenden.

Nicht unwesentlich ist die Mitnahme von Zeichenpapier. Abgesehen von Skizzenbüchern empfiehlt es sich, Rollenpapier von einer für Aquarellmalerei geeigneten Art auf Leinwand aufziehen zu lassen, sodass man Blätter von beliebiger Grösse abschneiden kann. Ich pflegte vor jeder längern Reise eine grössere Anzahl derartiger Blätter zurecht zu stellen und mittelst eines Liniennetzes in Quadrate von je 1 engl. Zoll Seitenlänge zu teilen. Dies gestattete, bei der Kartenzeichnung den einheitlichen Massstab von 1 engl. Zoll = 6 nautische Meilen (60 auf 1 Aequatorgrad) anzuwenden. Da es jetzt Croquierpapier mit Millimetereinteilung ebenfalls in Rollen giebt, so würde es zweckmässig sein, auch dieses auf Leinwand gezogen mit sich zu führen. Auf der Reise fehlt es zum Zeichnen und selbst zum Schreiben häufig an einer geeigneten Unterlage. Ich pflegte als solche einen sehr festen Pappdeckel (57 × 38 cm) mit Blechrahmen zum Schutze gegen Wind, wie sie in England für Landschaftszeichner angefertigt werden, beständig bei meinem Gepäcke zu haben. Derselbe hat mir sehr gute Dienste gethan. Die Kartenblätter hatten dieselbe Grösse.*)

*) Von anderen Utensilien zum Zeichnen und Schreiben mögen noch genannt werden: ein Reisszeug mit guten Zirkeln, ein durchsichtiger Transporteur, Zeichenfedern, chinesische Tusche und Sepia, Pinsel von Marderhaar, ein metrisch geteiltes Lineal, Pauspapier, einige Blätter Löschpapier, Kautschuk. Zum Schreiben ist die Goldfeder zu empfehlen, da sie sich in Jahrzehnten nicht ändert. Einige Notizbücher sollten, wie diejenigen der Ingenieure, Papier mit quadriertem Liniennetze (metrisches Mass) enthalten. Auch thut man gut, Profilpapier, wie es für die Zeichnung von Eisenbahndurchschnitten verwendet wird, mitzunehmen.

3. Methoden des Reisens.

§ 7. Derjenige, welchem geologische und physisch-geographische Forschungen Hauptzweck sind, reist unter allen Umständen am besten allein oder höchstens (natürlich abgesehen von der einheimischen Dienerschaft) mit einem Begleiter, welcher nicht einem bestimmten Zweige der Wissenschaft nachgeht, sondern vielmehr in einer untergebenen Stellung dazu da ist, spezielle Aufsicht über Leute und Gepäck zu führen, gelegentlich den Packzug auf einem von dem des Reisenden abweichenden Wege zu führen, die Küche mit Wildbret versorgt zu halten, die Neugier der Eingeborenen zu befriedigen, während der Reisende seine Arbeiten ausführt, und welcher sich zugleich für geologische Hülfsarbeiten, wie das Sammeln von Versteinerungen, das Schlagen von Formatstücken u. s. w., anleiten lässt. Jeder Reisende, welcher selbständigen Zielen nachgeht, sei er Botaniker oder Entomolog oder Ethnograph oder Kaufmann, hindert den Geologen und wird von ihm gehindert, da jeder anderer Bedingungen für die Orte, an denen ihm ein Aufenthalt wünschenswert erscheint, bedarf. Selbst ein geistig ebenbürtiger, dem Willen des Reisenden sich unterordnender Gesellschafter ist kaum anzuraten, da man dann nicht die nötige Zeit auf Ausarbeitungen zu verwenden im stande ist. Der Geolog aber hat beim Reisen nicht einen Augenblick Zeit, müssig zu sein. — Diese Vorschriften gelten für den Fachmann in rigorosester Weise und haben allerdings weit weniger Anwendung für den, welcher Geologie und physische Geographie als Nebenbeschäftigung treibt. Doch gilt für alle Naturforscher die Empfehlung, allein oder in sehr kleinen Gesellschaften zu reisen. Botaniker und Zoolog kommen gut zusammen aus, da das Verbleiben an Standquartieren in der freien Natur für sie wichtiger ist als das stete Vorwärtsgehen. Auch der Ethnograph und der Nationalökonom mögen zusammen gehen, da beide ihr Material an bevölkerten Ortschaften finden. Je vielseitiger die Zwecke grosser Expeditionen mit zahlreichem Personale sind, desto ungünstiger gestaltet sich in der Regel das Verhältnis der aufgewendeten Mittel zu dem zu erwartenden Erfolge. Man hindert sich gegenseitig, man hält einander auf und reisst einander fort. Viel Zeit wird vergeudet, und sehr selten hat ein Mitglied Gelegenheit, seine Kräfte zur vollen Geltung zu bringen. Solche Expeditionen werden in Hindernissen geboren

und wachsen in ihnen fort; nur wenige sind mit grossem Erfolge gekrönt gewesen.

Der Forscher auf den Gebieten der physischen Geographie und Geologie muss, wo immer er mitten in einem Beobachtungsfelde ist, möglichst viel zu Fuss gehen. Unter den Beförderungsmitteln ist der Gebrauch des Wagens wenig zu empfehlen, da man dadurch an die Fahrstrassen gebunden ist, welche das geologisch interessante Bergland gewöhnlich vermeiden. Tragstühle sind nur dem anzuraten, welcher sie als Dekoration benutzt und daneben hergeht; denn die Bewegung derselben hat eine erschlaffende Wirkung und lähmt die Beobachtung. Am zweckmässigsten ist das Reisen zu Pferd oder Maultier, da man damit am wenigsten an bequeme Wege gebunden ist und ein Mittel zu Seitenausflügen stets zur Hand hat. Stromfahrten sind unbefriedigend, da man vom Boote zu wenig Aussicht hat und im besten Falle den Gebirgsbau entlang einer Linie kennen lernt. Bei der Fahrt stromaufwärts kann man viel zu Fuss gehen, aber stromabwärts eilt man im Fluge an den interessantesten Stellen vorbei, und gerade in Felsengen, wo die Aufschlüsse am reichsten sind, hat man selten Gelegenheit, an den für die Beobachtung zweckmässigsten Orten anzulegen. Ist man an ihnen vorbei, so ist die Gelegenheit, sie zu sehen, unwiederbringlich verloren.

Das Reiten auf Kamelen ist in einigen Gegenden, die Beförderung auf Elefanten in anderen Ländern nicht zu vermeiden. Wo auf weite Strecken ein Wechsel nicht eintritt, wie in Steppen und Wüsten, oder wo endlose Vegetation jede Möglichkeit eines Aufschlusses verschliesst, sind beide Methoden als Transportmittel zweckdienlich. Wenn aber das Auge einen der Beobachtung werten Gegenstand erspäht, verlässt man den hohen Sitz auf dem Tiere mit ungleich grösserem Widerstreben, bedeutenderer Schwierigkeit und längerem Aufenthalte, als wenn man sich des Pferdes oder Maultieres bedient. Man sollte, wo immer sich Aufschlüsse darzubieten scheinen, selbst in den Ländern des Kamels und des Elefanten, so viel als möglich wandern.

4. Wahl des Reiseweges.

§ 8. Ausserordentlich viel hängt von den Linien ab, denen entlang man ein Land bereist. Die Hauptverkehrswege, auf welchen das Fortkommen am bequemsten ist, führen in der Regel

so, dass man einen Begriff von der Plastik und innern Struktur der Gegend nicht bekommt. Wer diese erkennen will, muss geologische Aufschlüsse aufsuchen, das heisst diejenigen Stellen, an denen man die an der Zusammensetzung teilnehmenden Gesteine beobachten kann. Die Erlangung einer grossen Zahl von Aufschlüssen hängt häufig von dem Willen des Reisenden und der Geschicklichkeit in der Wahl seiner Wege ab. Vor allem muss er sich nicht an die weiten Thalflächen halten, nicht mehr als notwendig der Richtung der Gebirge parallel reisen, sondern möglichst oft quer über dieselben hinweggehen oder vom Thale aus Ausflüge nach den Kämmen unternehmen. Bekommt man mehrere Querschnitte desselben Gebirges, so ergänzt einer den andern, und man wird sich bald ein annähernd richtiges Bild von dem Gesamtbau desselben machen, während die innere Struktur ganz verborgen bleibt, wenn man die Gesteine von seinem Fusse noch so genau kennt, der Rest aber unbekannt ist. Die Mühe und Kosten der angegebenen Art der Bereisung sind viel bedeutender, als wenn man auf bequemen Strassen in den Thälern herumfährt; aber man wird reichlich belohnt, nicht nur durch die geologischen Aufschlüsse und die vermehrte Gelegenheit zur Beobachtung der umgestaltenden Arbeit der von aussen wirkenden Agentien, sondern auch durch den Genuss, welcher in Gebirgswanderungen liegt, den Ueberblick des Landes, den man von den Höhen erhält und der zur Kartenzeichnung wichtiges Material giebt, die Bereicherung der Kenntnis der hypsometrischen Verhältnisse der Gegend und die Gelegenheit zum botanischen und zoologischen Sammeln. Ein Reisender, der die Gebirge nicht besucht, mag wohl die Leute kennen lernen, aber mit der Natur des Landes bleibt er unbekannt. Je mehr dies beherzigt worden ist, desto mehr haben berühmt gewordene Landreisen zur Bereicherung der naturwissenschaftlichen Kenntnis beigetragen. Sobald man einmal die Anordnung und die Streichrichtungen der Gebirge eines Landes kennen gelernt hat, sollte man daher keine Mühe scheuen, um wiederholte Wanderungen in grosser Ausdehnung quer gegen dieselben auszuführen. Aber auch wo die Gelegenheit dazu nicht vorhanden und man auf grosse Ebenen angewiesen ist, fehlt es nicht an Beobachtungsmaterial. Die Resultate häufen sich langsamer; aber um so weiter sind die Gesichtspunkte, von denen aus man dieselben nach Beendigung einer Reise überblickt. So geringen Wert man oft im Augenblicke

auf Beobachtungen in solchen Gegenden zu legen geneigt ist, sollte man doch auch in ihnen niemals ermüdet stille stehen. Jede Lücke macht sich bei der Rückkehr in empfindlicher Weise bemerkbar.*)

5. Sammeln geologischer Gegenstände.

§ 9. Die Gegenstände, welche gesammelt werden sollten, lassen sich vom praktischen Gesichtspunkte einteilen in: Gesteine, Erden, Versteinerungen und Mineralien.

Die Sammlung von Gesteinen oder Gebirgsarten ist die wichtigste, um einen allgemeinen Ueberblick des Baues der betreffenden Gegend möglich zu machen. Die Art ihrer Anlegung richtet sich ganz nach dem Grade der geologischen Ausbildung, welche der Reisende besitzt. Als das Vollkommenste kann man eine Reihenfolge guter Handstücke von regelrechtem Formate betrachten, die ein namhafter Geolog nach eigener Auswahl selbst geschlagen hat und die ihm dann als Grundlage einer Ausarbeitung dienen, in welcher er das, was in der Sammlung fehlt, durch deutliche Beschreibungen ergänzt. Unter regelrechtem Formate versteht man Stücke von ungefähr 10—12 cm Länge, 7—9 cm Breite und 1—2 cm Dicke; gute Handstücke müssen allseitig einen frisch geschlagenen Bruch haben. Wer Spezialuntersuchungen eines kleinen Gebietes ausführt, bemühe sich, auch in Bezug auf äussere Ausstattung das Vollendetste zu leisten und jede Beobachtung durch Musterstücke zu belegen. Von dem reisenden Geologen jedoch ist nicht zu verlangen, dass er dieses Ziel in einer auch nur annähernd vollkommenen Weise erreiche; und so sehr es anzuerkennen ist, wenn er dort, wo er Zeit dazu hat, auch einige Mühe auf äusseres Ansehen verwendet, so würde es doch ganz fehlerhaft sein, zu sehr darauf zu achten und manche Stücke deshalb nicht mitzunehmen, weil sie den genannten Anforderungen nicht entsprechen. Eine kleine vorspringende Ecke, die man gelegentlich von einem Fels abgeschlagen und mitgenommen hat, ist nachher oft mehr wert, als ein Dutzend mühsam in die regelrechte Form gebrachter Stücke. Der Dilettant, vorausgesetzt, dass er geologische Untersuchungen zu einer Hauptbeschäftigung auf seiner Reise wählt, ist in der eigentümlichen Lage, dass er

*) S. auch über geologische Aufschlüsse unten § 197.

mehr sammeln muss als der Geologe von Fach, deshalb, weil er die Nomenklatur und Beschreibung nicht so beherrscht wie dieser und seine Angaben erst durch Belegstücke Zuverlässigkeit erlangen. Um sich nicht zu sehr zu belasten, sollte er, beispielsweise bei dem Uebergange über ein Gebirge, mit Sorgfalt kleine, frisch gebrochene Scheiben oder Würfel der einzelnen Gesteine sammeln, denen er begegnet, sie sofort numerieren und in Papier wickeln und entsprechende Nummern mit Bemerkungen über die Art des Auftretens an Ort und Stelle in das Rohbuch eintragen. Damit ist aber nicht gesagt, dass er, wie es viele thun, hin und wieder ein beliebiges Stück Stein von der Strasse aufheben und nach Hause bringen solle; das würde nur nutzlosen Ballast ergeben. Sondern jedes Bruchstück muss von anstehendem Gesteine genommen, vom Fels selbst losgeschlagen sein; der Reisende muss wissen, weshalb er es mitgenommen hat, und es muss durchaus wenigstens eine frische Bruchfläche haben. Neben dieser kleinen, unter allen Umständen leicht zu transportierenden Sammlung, welche den Weg des Reisenden illustriert, sollte er dann eine zweite von guten Handstücken anlegen, zu der er den längern Aufenthalt an interessanten und geographisch gut bestimmten Lokalitäten, ebenso wie eine kurze gelegentliche Rast am Wege, benutzt.*)

Was die Erden betrifft, so empfiehlt es sich zunächst, die Anschwemmungen von Flüssen zu sammeln. Die Dammerde ist durch Kultur verändert; man thut daher besser, die Proben von Steilabbrüchen an Flussufern wenigstens 2 Fuss unter der Oberfläche zu entnehmen. Dasselbe sollte man dort thun, wo der Boden von tiefen Schluchten durchfurcht ist. Ausserdem sollte man alle technisch verwendeten Erden, Töpferthone, Porzellanthone, Pfeifenthone und die aus ihnen gewonnenen Produkte sammeln. Ferner die Polierschiefer, überhaupt kieselige Erden, und die Absätze aus heissen Quellen, die dann zum Teil auf Infusorien zu untersuchen sind. Bei Porzellanthonen kommt es

*) Ich habe mich selbst bei meinen Reisen in China fortdauernd dieser zwei nebeneinander hergehenden Methoden bedient. Denn wenn man zum Beispiel mit Maultieren über ein Gebirge reist, so hat man keine Zeit zum Stehenbleiben, sondern muss rastlos vorwärts gehen. Das Mitnehmen eines kleinen Belegstückes erscheint oft im Augenblicke selbst als überflüssig. Hat man es jedoch gesichert, so bewahrt man es wie Gold, und manches unscheinbare Fragment bewährt sich später als das wichtigste Material zur Vergleichung. Keines aber ist nutzlos, wenn es richtig gesammelt ist.

darauf an, die verschiedenen angewendeten Arten von Material vollständig zu haben. In vulkanischen Gegenden ist Aufmerksamkeit auf die verschiedenen Tuffe und die Schlammabsätze zu verwenden. Wer in den Tropen reist, der sollte nicht versäumen, den Laterit (§ 206) recht gründlich zu studieren und Proben desselben von verschiedenen Orten mitzunehmen. Erweist sich eine Erde als Zersetzungsprodukt von anstehendem Gesteine, so ist es gut, dieses sowie auch Uebergangsstufen beizulegen. — Zur Aufbewahrung von Erden empfehlen sich die Büchsen von verzinntem Eisenbleche, in welchen man stets einen Teil der Provisionen mit sich führt. Bei solchen Erden, die eine Struktur haben, wie der Löss, sollte man solide Stücke von der Gestalt der Büchse schneiden und sie, in ihrer natürlichen Lage, hineinthun.

Wenn die Gesteinssammlung für den allgemeinen Ueberblick besonders wichtig ist, so ist es diejenige von Versteinerungen zur genauen Bestimmung der Formationen. Kein Reisender sollte unterlassen, auf sie ein ganz besonderes Augenmerk zu richten. Selbst wenn er gar keine Gesteine sammelt, darf er keine Gelegenheit vorübergehen lassen, um Fossilien in möglichster Reichhaltigkeit mitzubringen. Denn wenn man das Glück hat, eine noch unerforschte Gegend zu betreten, so bleibt sie, wenn sie nicht vielleicht aus vulkanischen Gesteinen oder Schwemmland besteht, unverständlich, solange man nicht im stande ist, durch die Bestimmung des geologischen Alters einzelner Formationen Licht über das Ganze zu verbreiten. Wer diese erste Aufgabe löst, dem wird der Dank des Fachmannes die darauf gewendete Mühe reichlich lohnen. Das Auffinden von Versteinerungen erfordert allerdings Uebung, und es lassen sich nicht bestimmte Regeln angeben. Nur einige wenige Fälle mögen hier erwähnt werden:

Alle mit krystallinischen Schiefern wechsellagernden Gesteine sind im allgemeinen als versteinerungslos zu betrachten. Gelingt es, darin etwas zu finden, so wird der Wert um so grösser sein. — Reiner Kalkstein ist gewöhnlich arm an deutlichen Versteinerungen, und sind sie vorhanden, so ist es schwer, sie zu sammeln. Sie sind aber stets wichtig und in hervorragendem Grade zu beachten. Insbesondere kommen in reinen Kalksteinen Brachiopoden, Cephalopoden, Crinoideen, Korallen und Foraminiferen vor. Vor allem sind solche Steinbrüche zu berücksichtigen, in denen Kalkstein zum Brennen gewonnen wird. Die Abänderungen,

welche man dazu verwendet, sind häufig voll Versteinerungen, welche, sonst schwer zu erhalten, durch die Steinbruchsarbeit blossgelegt werden. Wird der Kalkstein bituminös oder mergelig, oder geht er in Mergelschiefer oder in thonige Schiefer mit Kalkknauern über, so wird man in der Regel einige und zuweilen eine reiche Ausbeute haben. Dies gilt auch für den Fall, dass Kalkstein und Schiefer wechsellagern. — In reinen Quarzsandsteinen oder dickbankigen roten thonigen Sandsteinen wird man meist vergebens nach Versteinerungen suchen. Werden sie aber mit dem Thongehalte dünnschichtig, mit glimmerigen Absonderungsflächen, so stellen sich häufig Reste von Zweischalern und Pflanzen ein. Weit günstiger ist der Uebergang in thonigsandige Schiefer und reine Schieferthone einerseits und Kalksandsteine andererseits. — Wo Kohlenflöze vorkommen, da giebt es fast immer etwas zu sammeln; gewöhnlich sind es Abdrücke von Pflanzen in den begleitenden Kohlenschiefern, bei deren Sammlung besondere Vorsicht in der Konservierung notwendig ist. Oft auch kommen tierische Versteinerungen in den Schichten über oder unter der Kohle vor. Hier ist das Sammeln besonders wichtig, um festzustellen, welchem Alter die Kohle angehört. — Tuffschichten, seien sie untermeerisch oder in Süsswasser abgelagert, der Tertiärperiode angehörig oder von höherem Alter, enthalten fast stets stellenweise grössere Anhäufungen von Versteinerungen.

Man kann von Versteinerungen niemals zu viel sammeln. Wo sie in Masse vorkommen, sollte man die am besten erhaltenen Stücke aussuchen, wo es nur wenige giebt, die unvollkommenen Exemplare nicht verachten; denn ein kleines Bruchstück kann oft einen Anhalt von grösserem Werte geben als von einem andern Orte eine Sammlung der besten Exemplare.

Mineralien hat der Reisende, welcher nicht Fachmann ist, selten Gelegenheit zu sammeln. Die unscheinbaren, welche zuweilen grossen Wert haben würden, fallen ihm nicht auf, und berücksichtigt er die schön krystallisierten, so kann es ihm leicht geschehen, dass er sich aus Unkenntnis mit Sachen von geringem Werte beschwert. Allerdings giebt es Ausnahmen. Besonders werden schön krystallisierte Erze, die man in Bergwerksgegenden zuweilen bekommt, in der Regel geschätzt werden. Nutzbare Mineralien, wie Kohle, Eisenerze, Graphit u. s. w., sind mit Aufmerksamkeit und vorsichtiger Auswahl zu sammeln.

Einzelne speziellere Winke zum Sammeln werden sich im weiteren ergeben. Es erübrigt, an dieser Stelle noch auf die

fernere Behandlung hinzuweisen. Vor allem ist zu bemerken, dass ein Gesteinsstück vollkommen wertlos ist, wenn man den Ort, von dem es stammt, nicht ganz genau kennt, bei Versteinerungen aber mindestens die Gegend ihres Ursprunges angegeben sein muss und jedes genauere Detail erwünscht ist. Die Versteinerungen verschiedener Schichtenkomplexe oder verschiedener Teile desselben Komplexes müssen sorgfältig auseinander gehalten werden. Zu jedem Stücke, sowie man es in Papier wickelt, sollte sofort, wenn es möglich ist, die Lokalität oder, wenn diese schwer definierbar ist, Stunde und Tag des Sammelns, oder wenigstens eine die Reihenfolge an dem betreffenden Tage bezeichnende Nummer geschrieben werden. Kommt man abends in das Quartier oder Lager, so wird zu jedem Gesteinsstücke ein Zettel geschrieben, auf dem man oben das Land oder die Provinz, darunter die Richtung und Entfernung des Fundortes von einem auf der Karte verzeichneten Orte und dann das Detail der Lokalität selbst angiebt. Jede weitere Bemerkung ist später von Nutzen. Unten wird das Datum des Tages vermerkt, an dem das Stück gesammelt wurde, damit man sofort das Tagebuch um Information nachschlagen kann, und endlich der Namenszug des Sammlers; also z. B.:

Java.
Residentie: Preanger Regentschaften.
Bandong 22 km NNW.
Südabhang des Vulkans Tankuban Prahu. — 1 Stunde von Lembang, am Wege nach dem Gipfel. Bildet das untere Ende eines Lavastromes.
1. 6. 1885. M. N.

Da sich der Zettel zerreibt, wenn er auf den Stein zu liegen kommt, so wird er in das erste zum Einwickeln des Gesteins verwendete Blatt Papier eingeschlagen. Drei halbe Bogen weichen Papiers sind bei einem gewöhnlichen Handstücke zum Verpacken hinreichend. Die so eingewickelten Gesteinsstücke müssen nun so untergebracht werden, dass sie fest

liegen.*) Bei Expeditionen, bei welchen mehrere beteiligt sind, ist es wünschenswert, die Proben zu numerieren und in Registern fortlaufend einzutragen. Der einzelne braucht sich dieser Mühe nicht zu unterziehen.

Sollte es dem Reisenden einmal geschehen, dass er die hier angegebenen Regeln vernachlässigt und bei einigen Stücken nicht mehr genau den Fundort weiss, so sollte er sie, mit Ausnahme der Versteinerungen, ohne weiteres wegwerfen, da sie nutzlos sind.

6. Wie und was man aufzeichnen und kartieren muss.

§ 10. Die erste Vorschrift für jeden, der eine Sammlung genauen Beobachtungsmaterials für weitere Bearbeitung mitzubringen wünscht, ist, dass alles sofort und genau schriftlich niedergelegt werden muss. Es darf nichts für den nächsten Tag verschoben werden. Bei Tage werden während des Reisens flüchtige Notizen über alles Bemerkenswerte, Ablesungen von Instrumenten, Schätzungen von Höhen, Entfernungen und andere Zahlenwerte, Wegskizzen, Umrisslinien der Berge u. s. w. in ein Rohbuch eingetragen, welches leicht zur Hand sein muss. Der Reisende sollte es sich zur festen Regel machen, dass er, wenn nicht aussergewöhnliche Umstände hindernd eintreten, abends nicht zur Ruhe gehen darf, ohne das einzelne in ausgearbeiteter Form (sodass es auch in seinem Todesfalle für andere benutzbar bleibt) in das Tagebuch resp. in die Bücher für Registrierung der Instrumentablesungen eingetragen, sowie Skizzen, besonders geologische Profile, sorgfältiger ausgeführt zu haben. Legen schon diese Aufgaben nach einem ermüdenden Tagesmarsche oftmals eine nicht geringe Ueberwindung auf, so ist eine noch grössere Energie erforderlich, wenn derselbe Reisende auch eine topographische und geologische Karte aufnimmt. Die

*) Die Gesteine sind nun zum Versenden bereit. Sind deren genug vorhanden, so werden sie in eine Kiste gepackt, in welcher unten eine dünne Lage von Heu ist. Die einzelnen Päckchen werden dann, wie beim Packen von Büchern, in Reihen aufrecht nebeneinander gestellt und fest eingezwängt. Je fester sie liegen, desto besser werden sie die Erschütterungen überstehen, denen sie weiterhin unterworfen sind. Zartere Gegenstände werden mit Baumwolle belegt, ehe sie in ein Papier gewickelt werden, und gesondert in Schachteln, verzinnte Blechbüchsen und Kistchen gepackt.

während des Tages gemachten Wegskizzen müssen an demselben Abende zu einem Ganzen zusammengestellt werden. Es sind diese notwendigen, täglich einige Stunden erfordernden Arbeiten, welche die Gesellschaft eines Mannes von gleicher Bildungsstufe so bedenklich erscheinen lassen, da die Zeit der Unterhaltung der für die Arbeit erforderlichen entzogen wird. Zu leicht verschiebt man die letztere auf den nächsten Tag; aber an diesem lässt sich die verdoppelte Aufgabe gewöhnlich nicht mehr bewältigen. Strenge gegen sich selbst ist wesentlich für den Erfolg einer Forschungsreise.

Unterhaltung muss in ausgiebigem Masse mit den Eingeborenen gepflogen werden. Wenn man sich monatelang in dem Gebiete einer und derselben Sprache bewegt, so kann man sich diese hinreichend aneignen. Wechselt sie häufiger, so muss man sich des schwerfälligen Mittels eines Dolmetschers bedienen. Man kann nicht genug Erkundigungen einziehen und sollte die Ergebnisse sofort notieren; aber keine Antwort sollte man für glaubwürdig halten, wenn sie nicht von wenigstens zwei Individuen unabhängig in gleichbedeutendem Sinne gegeben worden ist. Verkehrswege, Namen und Lage ferner Ortschaften, Entfernungen, Verzweigungen von Flüssen, Namen von Gebirgen, Bevölkerungsverhältnisse, Bestellung der Felder, Preise der Lebensmittel, Herstammung der Lebensbedürfnisse, Produkte der umliegenden Gegenden, das sind einige der Gegenstände, über welche man sich täglich erkundigen sollte. Nichts darf dafür zu geringfügig erscheinen. Man wird oft finden, dass die vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse nach Gegenden zu interessanten Betrachtungen Anlass giebt. Besonders wird sich bei geschickter Fragestellung die Karte leicht vervollständigen lassen.

§ 11. Für die Zwecke der geologischen Karte dienen besonders Erkundigungen nach nutzbaren Mineralien; die Herstammungsorte derjenigen, welche man zu sehen bekommt, sind den Leuten in der Regel bekannt. Auch manche indirekte Beobachtungen, die stets notiert werden müssen, lassen sich für die Vervollständigung dieser Karte verwerten. Ein wichtiger Gegenstand für dieselben sind z. B. alle Werke von Menschenhand, in denen Steine angewandt werden. In einer Gebirgsgegend könnte man aus dem Materiale, womit die Mauern und Häuser in Dörfern und Städten gebaut sind, eine fragmentarische geologische Karte konstruieren; denn wo die Verkehrsmittel

unvollkommen sind, verwendet man zu diesen einfachen Bauwerken meist nur Material aus der unmittelbaren Nachbarschaft. Oft führt ihre Beobachtung zur unerwarteten Entdeckung einer Formation, die man vorher nicht anstehend sah, z. B. von Basalt; oder man findet an ihnen das Wiederauftreten eines längst bekannten Gebildes, z. B. eines oolithischen Kalksteins, dessen genaue Einreihung als Formationsglied man vorher kennen gelernt hat. Zu monumentalen Bauten wird das Gestein oft weiter herbeigeführt, und indem man die Lage des Steinbruches, welcher es liefert, erforscht, erweitert sich die Kenntnis von der Verbreitung der betreffenden Formation. Auch die Gerölle in Bächen müssen untersucht werden, da sie manchen Fingerzeig für den Bau des Gebirges geben, aus dem sie stammen. Grosse Vorsicht ist an solchen Orten notwendig, wo Seeschiffe anlegen. Begierig, einen Wink über das, was er zu erwarten hat, zu erhalten, untersucht der Geolog beim ersten Landen sofort die zu Uferbauten verwendeten oder lose umherliegenden Gesteine. Sie zeigen oft eine auffallende Musterkarte, aber bei näherer Untersuchung ergiebt es sich, dass sie Schiffsballast sind, welcher aus verschiedenen Gegenden hergebracht wurde. Selbst der Schluss, dass Ballast, der eben ausgeladen wird, eine Andeutung der an dem Ausgangspunkte des Schiffes auftretenden Formationen geben könnte, ist falsch; denn dort nahm man vielleicht solchen ein, welcher schon mehrere Male seinen Ablagerungsort wechselte.

Die fortdauernde Anfertigung von Skizzen und Zeichnungen kann nicht genug empfohlen werden. Wer des Zeichnens nicht mächtig ist, darf sich diesen Mangel als Vorwand nicht vorhalten; denn auch die unvollkommene Ausführung ist eine Stütze für das Gedächtnis. Die rohesten Umrisslinien einer Landschaft oder eines Gebirgsrückens rufen nach Jahren ein ganzes Bild zurück. Man hat sich besonders davor zu hüten, die Gegenstände an Ort und Stelle als einer besondern Aufzeichnung nicht wert zu erachten; sie wachsen an Bedeutung in dem Masse, als man sich von ihnen entfernt. Gebirgsprofile, auffallende Formen von Bergen, Flussufern, Abstürzen, Häusern, Ornamenten, Werkzeugen — alles sollte in Skizzen niedergelegt werden. Den grössten Wert für den Reisenden selbst haben seine Handzeichnungen, weil er in ihnen im stande ist, dasjenige hervorzuheben, was er als das Charakteristische seinem Gedächtnisse einzuprägen wünscht. Wer durch langsames Reisen

in einem kleinen Gebiete Musse zu genauerem Zeichnen hat, sollte sich der Camera lucida bedienen. Sehr verdienstlich ist es, aus schwer erreichbaren Gegenden photographische Bilder mitzubringen. Die Brauchbarkeit derselben wird allerdings sehr von dem Verständnisse abhängen, mit welchem Gegenstand und Standpunkt ausgewählt sind. Seitdem es möglich geworden ist, mit Trockenplatten und kleinen Apparaten zu arbeiten, ist der Reisende der Mühe eigener technischer Behandlung fast gänzlich enthoben.

7. Allgemeine praktische Winke.

§ 12. Zum Schlusse mögen hier einige allgemeine Andeutungen über verschiedene Gegenstände des praktischen Reiselebens Platz finden. Die meisten haben, wenn sie zum erstenmal eine Forschungsreise antreten, wenig Begriff von dem, was erforderlich ist, und schaffen sich mit grossem Eifer und Kostenaufwande eine Menge von Dingen an, welche sich nachher als überflüssig und unpraktisch erweisen. Abgesehen davon, dass die Ersparung an den Kosten der persönlichen Ausrüstung für manchen von Bedeutung sein dürfte, leitet mich bei diesen auf eigene Erfahrung gegründeten Winken die Ueberzeugung, dass der Erfolg geologischer Forschungsexpeditionen zum grossen Teile von dem persönlichen Wohlbefinden und der Gesundheit des Reisenden abhängt, beides aber in hohem Masse durch Aeusserlichkeiten bedingt wird, welche geringfügig erscheinen und doch von grossem Einflusse auf die Bereicherung der Wissenschaft sein können. Zwar haben solche Winke deshalb einen beschränkten Wert, weil die gleichen Regeln nicht für alle Fälle gelten; sie werden stets individuell gefärbt sein, je nach den Erfahrungen desjenigen, welcher sie giebt. Doch darf der Verfasser wohl zur Rechtfertigung hinzufügen, dass es ihm vergönnt gewesen ist, auf jahrelangen Wanderungen ohne Unterbrechung thätig sein zu können und von Ländern mit verderblichem Klima ohne die geringste Schädigung der Gesundheit zurückzukehren.

Im allgemeinen kann man als Regel hinstellen, dass alle Erzeugnisse höherer Technik (wissenschaftliche Instrumente, optische Gläser, Uhren, Gewehre), alles was zur Herstellung von künstlerischen und technischen Arbeiten bestimmt ist (wie der gesamte, zum Zeichnen aller Art, zum Aquarellieren und Photographieren erforderliche Apparat), endlich auch Karten und wissenschaftliche Bücher durchaus in der Heimat zu beschaffen sind. Die geringste Versäumnis in rechtzeitiger Besorgung macht

sich sehr fühlbar. Dagegen sollten diejenigen Gegenstände, welche Lebensbedürfnisse betreffen, wie Kleider, Wäsche, Nahrungsmittel, auch Schreibmaterial, im wesentlichen der Beschaffung an überseeischen Handelsplätzen, falls man solche überhaupt berührt, wenigstens zum grössten Teile vorbehalten bleiben, da alles dies daselbst zweckentsprechender als in deutschen Städten, das heisst den klimatischen Anforderungen angemessener und oft in reichster Auswahl zu haben ist. Besonders gilt dies für diejenigen Orte, wo der englische Einfluss herrschend ist. Der deutsche Reisende thut daher gut, sich vollständig für seine wissenschaftliche Thätigkeit auszurüsten, dagegen sich betreffs der persönlichen Aussteuer im Heimatslande thunlichst zu beschränken, falls er nicht, was hier selbstverständlich ausgeschlossen ist, unmittelbar nach ganz unwirtlichen Gegenden sich begiebt. Wer von englischen Häfen ausgeht, findet schon in London und Liverpool eine Fülle praktischer Reiseutensilien, da man dort die Bedürfnisse in anderen Ländern und Klimaten kennt, und man hat nur der Gefahr zu reichlicher und zu luxuriöser Anschaffung auszuweichen.*) *Multum non multa* gilt auch hier; man sollte nicht zu vieles anschaffen; aber jedes einzelne einfach, bequem und dauerhaft.

Was im einzelnen zunächst die Kleidung betrifft, so bedarf es für die kühleren Teile der gemässigten Zonen keiner besondern Vorschrift. Wer in die Tropen und nach warmen Ländern überhaupt reist, wird gut thun, sich an dem ersten tropischen Orte, an dem das Schiff anlegt, den nötigsten Bedarf für die Seefahrt zu beschaffen und an dem Endpunkte der letztern das weitere zu besorgen. Für die Oberkleider sind mittelfarbene wollene oder halbwollene Stoffe am zweckmässigsten. Sie müssen leicht sitzen. Für die Beinkleider sind sogenannte Knickerbockers (weite Kniehosen) und Gamaschen zu empfehlen; der Rock sollte joppenartig mit grossen Taschen, die Weste mit flügelartigen Ansätzen nach unten versehen sein, in denen sich zwei grössere Taschen für Notizbuch, Schiessbedarf u. dergl. befinden. Das Wichtigste für den Geologen sind bequeme und sehr feste Stiefel. Mängel an diesen können die schaffenslustige Thatkraft auf Wochen lahmlegen. Unübertroffen für den Reisegebrauch sind niedrige und hohe Stiefel aus braunem Rindsleder, welche von der britischen Militärverwaltung für Polizeisoldaten der Kolonien geliefert werden. Da sie den Bedarf der letzteren übersteigen, kann man sie zuweilen käuflich erwerben. Zur innern Fussbekleidung empfiehlt sich ein sehr dünner baumwollener Strumpf mit einem leichten von grober Wolle darüber. Eine dünne Unterjacke (India-gauze) ist in heissem Klima der Gesundheit und Reinlichkeit wegen erforderlich, eine wärmere in

*) In neuerer Zeit hat sich auch die Firma R. Beinhauer Söhne in Hamburg die Anfertigung praktischer Ausrüstungsgegenstände angelegen sein lassen und auf der mit dem Hamburger Geographentage (1885) verbundenen Ausstellung ein anerkennenswertes Zeugnis der erreichten Erfolge gegeben.

kälterm Klima ratsam. Auf das dringendste ist der sehr häufige Wechsel der Unterkleider zu empfehlen, nicht nur aus den oben genannten Rücksichten, sondern auch, weil in dicht bevölkerten Gegenden, wo, wie in China, die Insektenplage in Kleidern allgemein ist, dies neben möglichst häufigem Baden den einzigen und zugleich absoluten Schutz dagegen gewährt.

Das viel empfohlene und zu hygieinischem Prinzip erhobene Woll- und Flanellhemd ist bei Seefahrten, bei nordischen Reisen und bei Wanderungen im Hochgebirge von grossem Nutzen. In den Tropen und bei jeder mit intensiver Transpiration verbundenen Reise in warmen Ländern kann es nicht empfohlen werden. Reinlichkeit ist zur Erhaltung des Wohlbefindens und der Gesundheit die erste Pflicht. Ein reichlicher Vorrat von dünnen weissen Unterjacken und ein kleinerer von bunten baumwollenen Hemden wird den Bedürfnissen des Gebildeten am besten entsprechen. Betreffs der Kopfbedeckung sind die örtlichen Gewohnheiten massgebend und müssen strenge innegehalten werden. Sie sind bei trockenem und feuchtem Klima verschieden.

Das häufig angeführte Prinzip, sich betreffs der nächtlichen Lagerstätte jeden Komforts zu entschlagen, erscheint nicht minder unnötig. Diejenige des Verfassers bestand in China und Japan aus einer Unterlage von vier Decken von langhaarigen mongolischen Ziegenfellen, jede etwas über 2 m lang und 1 m breit. Dieselben sind von sehr geringem Gewichte und können auch durch andere langhaarige Felle ersetzt werden. War es kalt, so wurde die Fellseite nach oben gekehrt; war es warm, so diente die Lederseite als Lager. Darüber war ein Leinentuch gebreitet. Eine ebenso überzogene lederne Rosshaarrolle diente als Kopfkissen. Auch die bunte wollene Decke war weiss bezogen. Bei grösserer Kälte wurde der Plaid und eines der Felle darüber ausgebreitet. Am Morgen wurde das gesamte Bett zusammengerollt und mit zwei starken Sattelriemen zugeschnürt. Unter dem Bette wurde eine amerikanische gummierte Decke von 3 m Länge und 2 m Breite ausgebreitet. Sie leistete hinreichend Schutz bei Nässe, Schmutz oder Staub. Ein dünnes, aber festes Mosquitonetz vervollständigte im Sommer die Lagerstätte. Es fiel auf die Gummidecke herab und wurde durch Bindfaden gehalten. Wo es Mosquitos giebt, wird man selten Gegenstände vermissen, an denen sich die Fäden befestigen lassen. Ein Bohrer und einige mit Schrauben versehene Messinghaken oder Baumschrauben ermöglichen die leichte Ausführung. Ich glaubte dies hier anführen zu dürfen, da ich ein praktischeres Reisebett nicht gesehen habe. In tropischen Wäldern bedarf man anstatt der Felle eines zusammenlegbaren leichten Gestelles aus festem Holze, auf dem ein starkes Leinentuch an den vier Ecken befestigt ist. Man kann noch vier senkrechte Stäbe anbringen, um das Mosquitonetz aufzuhängen. Eine Hängematte entbehrt des letztern Vorteils, kann aber zuweilen sehr gute Dienste thun.

Die Versorgung mit Lebensmitteln richtet sich nach den Besonderheiten jedes Landes. Man sollte von dem Grundsatze ausgehen, dass der Mensch, um tüchtige Arbeit zu liefern, vor

allem gut und kräftig leben muss. Dazu ist in allen Ländern nicht europäischer Civilisation die einheimische Kost durchaus unzureichend. Man bequemt sich ihr nur auf Kosten der eigenen Kräfte und, da manche Lebensmittel unverdaulich und uns direkt schädlich sind, auf Kosten der Gesundheit an. Die Kost sollte sich der heimischen soviel als möglich nähern. Fast jedes Land gewährt stärkemehlhaltige Nahrungsmittel. Diese braucht man daher in der Regel nicht mit sich zu führen; doch sind englische Crackers und Cakes ein angenehmer und für kleine Zwischenmahlzeiten nützlicher Luxus; ebenso Hafergrütze (scotch oatmeal), welche den Vorteil schneller Zubereitung gewährt. Betreffs der Fleischnahrung ist man oft auf das ungewisse Ergebnis der Jagd angewiesen, und Gemüse sind in manchen Ländern kaum zu haben. Ich habe oft durch Monate einmal täglich am Abende eine kräftige Suppe von Liebigs Fleischextrakt und (in getrocknetem Zustande) komprimierten gemischten Gemüsen („Julienne"), wie sie von Chollet in Paris für die französische Marine hergestellt wurden*) und jetzt auch in Deutschland gemacht werden (wobei ein Päckchen von fünf Rationen für zwei Mann berechnet wurde), als Hauptmahlzeit genossen und mich dabei, trotz anstrengender Fusswanderung vom Morgen bis zum Abend und mehrstündiger Arbeiten in dem ersten Teile der Nacht, sehr wohl und leistungsfähig befunden. Ich halte diese beiden Substanzen, welche unter allen Nahrungsmitteln am wenigsten Gewicht und Raum beanspruchen, für die Grundlage einer kräftigen und gesunden Reisekost. Mit Zuhülfenahme desjenigen, was, einschliesslich der Jagd, fast jedes Land liefert, kann man mit einer geringen Quantität von ihnen Kontinente durchwandern. Präserviertes Fleisch erscheint fade und kraftlos; dazu nimmt es sehr viel Raum und Gewicht ein. Nach manchen Versuchen habe ich es schliesslich ganz weggelassen. Dagegen wird Erbswurst von allen, die sie auf Reisen verwendet haben, sehr empfohlen. Auch ist unter den Konserven der Neuzeit die getrocknete Eisubstanz zu nennen. Unter den Getränken nehmen Kakao in irgend welcher Form und Thee den ersten Rang ein. Beides sollte man mit sich führen, erstern am besten in der Form gepresster Kuchen, wie sie in der britischen Marine verwendet werden. Kaffee ist überflüssig, aber ein angenehmer Luxus. Man füllt den in den Ausgangsstationen frischgebrannten Kaffee stark gepresst in verzinnte Büchsen, die mit Papier verklebt werden; in diesem Zustande hält er sich durch Monate recht gut. Ein nützliches Getränk für die Reise ist Kognak. Man sollte aber nur bei der abendlichen Ankunft auf der Station eine kleine Ration desselben mit einigen Tropfen „Bitters" nehmen. Dies ist förderlich für die Kräftigung und die Gesundheit. Eine oder zwei Flaschen guten Portweins leisten treffliche Dienste

*) Auf der genannten geographischen Ausstellung waren Julienne-Tafeln derselben Art, nebst getrockneten Eiern von Heffner in Passau, Erbswurst und anderen nützlichen Reisekonserven von der Firma W. Richers in Hamburg ausgestellt.

als Medizin bei Magenbeschwerden und sind für solche Fälle sorgsam aufzubewahren. Ausserdem sollte man, abgesehen von Bootfahrten, bei denen man überhaupt betreffs der Art und Menge der Lebensmittel unbeschränkt ist, keinen Wein bei sich führen. Ist er vorhanden, so hat man stets Verlangen danach; ist er nicht da, so entbehrt man ihn nie. Mit Zucker, präservierter Butter, kondensierter Milch und anderen nicht absolut notwendigen, aber angenehmen Nahrungsmitteln wird sich jeder je nach persönlichem Bedürfnisse und verfügbarem Transportgewichte versehen.

Der Hausrat besteht aus wenigen Stücken Kochgeschirr und den Gerätschaften für die Mahlzeit. Für letztere wird nach den üblichen spartanischen Prinzipien in der Regel verzinntes Eisenblech empfohlen, welches schwer reinzuhalten und für Säuren empfindlich ist. Ich habe stets Porzellan und Glas mit mir geführt. Die Gegenstände konnten in besonders hergerichtete Abteilungen eines Kastens leicht und doch sehr fest zwischen Filzscheiben hineingeschoben werden. Trotz mehrfachen Abwerfens des Gepäckes durch störrische Maultiere, wobei einmal der Kasten einen Abhang hinuntergeschleudert wurde und an den Felsen zerschellte, habe ich an diesen Gegenständen nie eine Einbusse erfahren. Natürlich muss es bestes, festes Porzellan und dickes Glas sein. Von grösster Wichtigkeit für abendliche Arbeit ist die Sorge für Beleuchtung. Ein Leuchter mit Windschutz und ein ausreichender Vorrat von hell und sparsam brennenden, dicken Stearinkerzen war trotz des Gewichtes einer der wesentlichsten Teile meiner Ausrüstung. Eine fest gebaute kleine Laterne ist ebenfalls notwendig.

Wo besondere Gerätschaften erforderlich sind, wie bei Reisen durch die Wüste oder im nordamerikanischen Great Basin, bedarf es keiner Ratschläge, da die landesübliche Sitte die Vorschriften selbst giebt. — Zu empfehlen ist ein guter, fester Sattel, und zwar ein Bocksattel, welcher die Luft auf dem Rücken des Pferdes frei durchstreichen lässt. Vorn sollte ein Horn sein mit Pistolenhalfter und kleinen, überzuhängenden Satteltaschen, während zwei grosse Satteltaschen hinten aufgelegt werden können. Zweckmässig sind die mexikanischen Sättel, wie sie in Kalifornien üblich sind. Bei grosser Kälte, wie bei Winterreisen in der Mongolei, lässt man sich in den Steigbügel eine Pelzumkleidung für den Fuss anbringen. — Einiges Handwerkszeug, insbesondere ein Beil, eine kleine Säge, eine Zange, einige Nägel und einzuschraubende Haken, sollte ebensowenig wie Bindfaden, Stricke, Riemen zum Schuüren, Schuhriemen, Schuhnägel und kleine Ausbesserungsmaterialien für allerlei Zwecke fehlen. Man muss im stande sein, sich einen Stall in kürzester Zeit in eine wohnliche, zu behaglichem Arbeiten geeignete Behausung, oft für mehrtägige Benutzung, umzugestalten. Betreffs der Grösse und Art eines Zeltes sind die klimatischen und anderen Verhältnisse massgebend.

Die Bewaffnung richtet sich nach den Reisezwecken und nach dem Laude. Jedes Gewehr muss von bester Konstruktion

sein. Eine gute Doppelflinte zur Jagd, ein Revolver zur Verteidigung und eine Büchse werden hinreichend sein. Hat man Gefahren zu bestehen, so ist eine Magazinbüchse zu empfehlen, welche die Sicherheit bei räuberischem Ueberfalle wesentlich erhöht. Zur Jagd ist ein Hinterlader ohne Magazin wegen der meistens grössern Trefffähigkeit mehr zu empfehlen. In menschenarmen Gegenden hat man, wo Gefahren drohen, den Revolver stets in einem Gurt umgeschnallt oder am Sattel bereit zu halten. In volksreichen Ländern, wie in China, lässt man ihn besser im Koffer, da seine Verwendung zur Verteidigung sofort das eigene Leben kosten würde.

Von Medizinen genügt dem Einzelreisenden eine kleine Anzahl wirksamer Mittel. Chinin sollte niemals fehlen, und am Abende nach dem leichtesten Fieberfalle eine starke Messerspitze voll genommen werden; dies muss an drei weiteren Abenden, auch wenn kein weiterer Anfall erfolgt, mit abnehmender Dosis wiederholt werden. Gegen Anfälle von Diarrhöe its das wirksamste Mittel Chlorodyn, welches in allen englischen und überseeischen Apotheken zu haben ist. Rhabarber ist auf Reisen am zweckmässigsten gegen die entgegengesetzten Beschwerden. Etwas Ipekakuanha als Brechmittel, Englisch Pflaster, Hirschtalg, Arnika und braunes Pflaster vervollständigen die kleine Apotheke. Bei Magen- und Darmbeschwerden, die nächst dem Fieber am leichtesten eintreten, ist sofort strengste Diät einzuführen; am besten nährt man sich alsdann von Reis, welcher mehrere Stunden ruhig gekocht hat und dem man allmählich Fleischextrakt zusetzt. Ein verwundetes Glied ist sogleich durch längere Zeit in kaltes Wasser, womöglich einen Strahl desselben, zu halten.

Auf Reisen in heissen Ländern ist die erste und wichtigste Gesundheitsregel, kein natürliches Wasser zu trinken. Es sollte stets abgekocht sein. Ein Zusatz von Thee macht es auch im Zustande der Tageswärme geniessbar. Flusswasser reinigt man vorher durch Alaun. Natürliches Wasser kann schnell die schlimmsten Krankheiten herbeiführen. Wo Gefahr vor Malaria ist, sollte man möglichst hoch über dem Boden schlafen und nicht vor Sonnenaufgang ins Freie gehen.

Für manche Länder giebt es eine Reihe besonderer Ausrüstungsgegenstände, die nicht im einzelnen genannt werden können; dahin gehören die Schutzvorrichtungen und mechanischen Hülfsmittel bei Reisen in Eis und Schnee oder in der Wüste.

Auch die Art der Gegenstände, welche man als Geschenke, als Tausch- oder Zahlungsmittel anwendet, sind in jedem Lande verschieden. Der Effekt der Geschenke ist ganz unberechenbar. Im siamesischen Hinterlande fühlte sich ein Häuptling, dem ich ein Bernsteinarmband gab, beeinträchtigt gegen einen Untergebenen, welcher eine Schachtel mit Zündhölzern erhielt. Nützlich fand ich überall Bilder, besonders von militärischen Gegenständen, Dampfschiffen u. dergl. Von grossem Dienste waren in China und Japan einige Jahrgänge der Illustrierten Zeitung, welche ich stets bei mir führte, da oftmals die Menge durch deren von

meinem Dolmetscher ausgeführte Demonstration allein davon abgehalten werden konnte, mich bei der Arbeit zu belästigen. Blieben dann einige Blätter als Geschenke zurück, so war das höchste Mass von Befriedigung erreicht.

Wo Silber das Zahlungsmittel bildet, wie in China, und der Reisende ein grosses Gewicht desselben mit sich führen muss, empfiehlt es sich, dasselbe in Winkel aller Gepäckstücke zu verteilen und nur einen gewissen Vorrat stets zur Hand zu haben.

Die Behältnisse für das Reisegepäck teilen sich in zwei Kategorien. Die einen braucht man, um sich nach dem Lande, welches man bereisen will, oder nach der Ausgangsstation hin zu begeben; die anderen bei Ausführung der eigentlichen Forschungsreise. Bei Seefahrten sowie bei Reisen nach tropischen oder feuchten Gegenden sind Behältnisse von Leder, mit Ausnahme kleiner, in täglichem Gebrauche befindlicher Gegenstände, zu vermeiden. Sie schimmeln, werden hart und brüchig und unterliegen dem Insektenfrasse. Für die Seereise sind verschliessbare Kasten aus Pappelholz zu empfehlen, die mit Segeltuch überzogen, mit Eisen oder Messing beschlagen und dann lackiert sind. Die Gegenstände werden in einen Einsatz von Zinkblech verpackt und dieser verlötet. Dies sind zugleich ausgezeichnete Behältnisse für alles, was man an der Station zurücklässt. In jeder Beziehung empfehlenswert sind gewisse Kasten von dicklackiertem, starkem Eisenblech, welche ausschliesslich in England gut angefertigt werden.

Die Behältnisse für die Forschungsreise selbst richten sich ganz nach den Gewohnheiten des Landes. Falls nicht besondere Vorschriften gegeben sind, sollte die Beschaffung derselben bis zur Ankunft in jenem verschoben werden. Selbst wo Menschenkraft zum Transport verwendet wird, sind die Methoden sehr verschieden, je nachdem der Träger, wie in Afrika, die Last auf den Rücken nimmt, oder, wie in China und Japan, an den beiden Enden eines auf der Schulter ruhenden Stabes verteilt. Ein Maultier in der Wüste von Arizona bedarf wegen der verschiedenen Art des Aufbindens ganz anderer Gepäckstücke als in dem praktischeren China. Im allgemeinen gilt nur die Regel, dass grosse Gepäckstücke immer eine Last und oft ein Hindernis sind, zu kleine Verteilung aber unbequem ist. Eine gewisse Mittelgrösse ist daher am zweckdienlichsten. Wer Kanton berührt, sollte nicht verfehlen, sich mit einer Anzahl der dort üblichen, schwarzlackierten Kasten von sehr dünnem Holze zu versehen, welche innen und aussen mit Schweinsleder überzogen sind. Sie verbinden Leichtigkeit, Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Bequemlichkeit in höherm Grade als irgend welche andere gleichzeitig gegen Nässe schützende Behältnisse, die mir bekannt geworden sind. Sie eignen sich für den Transport durch Lastträger, Lasttiere und Wagen und sind bequem bei Seefahrten und Eisenbahnfahrten. — Die meisten Behältnisse sollten verschliessbar sein. Der Reisende hat hinsichtlich der Vorräte die Rolle einer sorgsamen Hausfrau zu spielen. Ist dem einheimischen Diener Freiheit in der Verwendung gelassen, so wird man z. B. in den Fall

kommen, den für ein Jahr berechneten Vorrat eines so wichtigen Artikels wie Seife in einer Woche verbraucht zu sehen.

Der Erfolg einer Reise hängt in vielen Ländern von der Art des Umganges mit den Eingeborenen ab. Dafür giebt es keine Regeln. Alles beruht auf persönlichem Takte. Ruhige, feste Entschiedenheit, Freundlichkeit und Milde, aber auch blitzschnelles, energisches Handeln im ersten Momente wirklicher Gefahr sind überall die besten Mittel. Ein glücklicher Scherz wandelt manchmal die feindselige Stimmung einer drohenden Menge magisch um. Legt sich die Gefahr nicht, so darf man sie niemals anwachsen lassen. Sie muss im Keime unterdrückt werden. In einer Menschenmenge darf man keinen Augenblick Furcht zeigen, sondern muss sich langsam und mit Würde hindurchbewegen. So lange die Ueberraschung dauert, kann man die Scheu erhalten. Die wirkliche Gefahr in einem feindlichen Menschenknäuel beginnt erst, wenn Ueberraschung und Scheu vorüber sind, und dazu muss man es, wenn möglich, nicht kommen lassen. Oft ist, was man für feindliche Stimmung hält, nur Neugier. Dann ist es am besten, sich frei und frank unter die Menschen zu begeben und ihre Neugier zu befriedigen. Aber unter keinen Umständen darf man Vertraulichkeit einreissen lassen; zu leicht bewährt sich das englische Sprichwort: „Familiarity breeds contempt".

Geschäftliche Angelegenheiten mit Eingeborenen sollten immer unter fester, beiderseits bindender Form abgemacht werden. Schriftliche Kontrakte, z. B. wo es auf Beförderung von Personen und Gepäck ankommt, ersparen oft viel Verdruss. Der Eingeborene hat vor ihnen die grösste Hochachtung, auch wenn er das Dokument nicht lesen kann.

Zweites Kapitel.

Messung und Zeichnung.

§ 13. An jedem Orte in freiem Lande sehen wir einen Teil der Erdoberfläche vor unseren Augen ausgebreitet. Die Gegenstände, welche wir erblicken, stellen sich uns in erster Linie in räumlicher Beziehung zu ihr dar. Um ein Verständnis des Erdraumes und des Verhältnisses der Einzelerscheinungen zu ihm zu gewinnen, suchen wir in verkleinertem Massstabe ein möglichst genaues Abbild der Bodenformen herzustellen. Es ist als die Landkarte bekannt. Nur für einen kleinen Bruchteil der Erdoberfläche ist das Ziel einer vollkommenen Abbildung in einer den höchsten Anforderungen unserer Zeit entsprechenden Weise erreicht. Weit umfangreicher sind diejenigen Gebiete, deren Aufzeichnung nur in allgemeinen Zügen niedergelegt ist. Der Grad der Mangelhaftigkeit und Lückenhaftigkeit nimmt zu bis zu einem Zustande völliger Unbekanntschaft, in welchem sich immer noch weite Länderstrecken befinden. Sowie der Reisende diejenigen Länder verlässt, von welchen auf Veranlassung der Regierungen der am höchsten civilisierten Staaten Kartenbilder von hoher Vollendung angefertigt worden sind, gelangt er daher in Teile der Erdoberfläche, in welchen es mit dem vorhandenen Materiale noch in geringem Grade oder gar nicht möglich ist, die Erscheinungen in räumliche Beziehung zu den Einzelformen derselben zu bringen. Es erwächst ihm, um seinen Wahrnehmungen einen grössern Wert zu verleihen, die Aufgabe, das Kartenbild nach Massgabe seiner Kräfte und der ihm zu Gebote stehenden Zeit so weit auszugestalten, dass es anderen, welche das Urbild nicht gesehen haben, möglich wird, eine

Vorstellung desselben zu gewinnen. Es bieten sich ihm dazu zwei Wege. Durch Messung und Zeichnung kann er die reine Gestalt zur Darstellung bringen; durch Beschreibung der Formen vermag er dieser einen belebtern Ausdruck zu geben. Nur auf den ersten Teil soll hier eingegangen werden. Für die Beschreibung lassen sich allgemeine Vorschriften kaum geben. Lebendige Anschauung der Natur findet selbst den richtigen Ausdruck. Eine wissenschaftliche Bezeichnungsweise wird sich späteren Abschnitten dieses Buches für die einzelnen Objekte, die sich dem Reisenden darbieten, entnehmen lassen. Es sei betreffs der allgemeinen Bodenformen besonders auf die Ausführungen des sechzehnten Kapitels hingewiesen und schon hier vor der kritiklosen Anwendung mancher uralter und allzu gebräuchlich gewordener, aber mit unvollkommenen Vorstellungen verbundener Ausdrücke, wie Hochebene, Massengebirge u. s. w., gewarnt.

Die Fassung der Aufgaben, welche der Reisende sich stellen kann, ist in keinem Bereiche derselben dehnbarer, als in demjenigen der für den Entwurf der Kartenbilder erforderlichen Messungen. Auf einer Seite beschränken sich die meisten Touristen auf eine einfache Erzählung ihrer Reise, welcher sie topographische Angaben ohne Anspruch auf Genauigkeit einflechten. Auf der andern Seite verlegen manche ihre ganze Aufgabe in möglichst genaue Messung; und in Anleitungen für Forschungsreisende jeglichen Schlages wird nicht selten dem Reisenden das Mitnehmen einer Fülle exaktester Instrumente empfohlen und deren Anwendung als das erstrebenswerteste Ziel hingestellt. Zwischen diesen beiden Extremen giebt es eine grosse Anzahl von Mittelstufen. Welche derselben die richtige sei, welcher Rang also den Messungen unter den verschiedenen Beschäftigungen anzuweisen sei, das muss jeder Reisende durch sorgsames und klares Abwägen seiner Befähigung und Vorbildung, wie seiner Ziele und Zwecke, selbst entscheiden.

Das Ideal topographischer Aufnahmen besteht in der durch exakte Basismessung und zahlreiche astronomische Ortsbestimmungen gestützten Herstellung eines trigonometrischen Netzes von festen Beobachtungsstationen, in der Messung der Höhen durch Präzisionsnivellement und trigonometrische Methoden und in der genauen Einzeichnung der gesamten Topographie und Plastik in das festgelegte Netz. Diese Arbeiten gehören zu den erhabensten wissenschaftlichen Leistungen unserer Zeit; sie

erfordern die höchste technische Vollendung der Instrumente, eine vertiefte wissenschaftliche Ausbildung und können nur durch die vereinigten Kräfte vieler ausgeführt werden, wie es insbesondere durch die sogenannten Gradmessungsarbeiten in bewunderungswürdiger Weise geschieht.

Es ist ein sehr grosser Abstand zwischen diesen vollkommensten geodätischen Operationen und der höchsten Stufe der messenden Arbeit, welche der Forschungsreisende auszuführen vermag; und wiederum ist der Grad der letztern sehr verschieden, je nachdem sie den Hauptzweck oder den Nebenzweck einer Reise bildet. Wenn man diejenigen Stufen der messenden Arbeit, von denen hier allein die Rede sein kann, in Betracht zieht, so ist dieselbe zwar von hoher, unter Umständen ihres grundlegenden Charakters wegen von höchster Wichtigkeit. Aber sie ist im allgemeinen die geringere und leichtere Aufgabe; Beobachtung und Forschung sind die höhere und schwierigere. Es bedarf geringerer geistiger Kraft und geringerer Vorbildung, um gut zu messen, als um wissenschaftlich und richtig zu beobachten. Daher ist in unserer Zeit die Zahl der messenden Reisenden sehr gross, verhältnismässig gering dagegen die Zahl derjenigen, welche durch Forschung wirkliche Bereicherung für die Wissenschaft bringen. Die gesamte geographische Wissenschaft ist von der Entdeckung durch die Messung zur Forschung vorgeschritten. Während des Zeitalters der Messungen dauerten die Entdeckungen fort. Wir sind jetzt in das Zeitalter der Forschungs-Geographie eingetreten; und doch sind ihr die vollendetsten Messungen und diejenigen Entdeckungen, welche die schwierigsten waren, nämlich die im Innern der Kontinente, vorbehalten geblieben. Der Trieb der Forschung aber, als der höchsten der drei Potenzen, leitet Messung und Entdeckung. Dieses in den Aufgaben der gesamten Wissenschaft erkennbare Verhältnis reflektiert sich in denen des Reisenden. Kühner Unternehmungsgeist und richtiger Takt sind die vornehmsten Eigenschaften des Entdeckers; mit ihnen vermag er die höchsten Palmen zu erringen. Einseitige, aber gründliche Ausbildung befähigt zur Anwendung der Messung auf Reisen und zur Festlegung der mathematischen Grundlinien des Kartenbildes. Hohe Verdienste erwirbt sich derjenige Reisende, welcher sich der Messung ausschliesslich oder doch in erster Linie widmet und sie mit der grösstmöglichen Genauigkeit ausführt. Das höchste Verdienst für den ruhigen Fortschritt der Wissenschaft erringt

derjenige, welcher, dem Geiste der heutigen Geographie entsprechend, die Messung der Forschung dienstbar macht. Er wird zugleich in höchstem Masse die Ausnutzung der Entdeckungen für die praktischen Interessen der Menschheit vorbereiten.

Astronomische Ortsbestimmungen. — Derartige Erwägungen werden zum Teile für den einzelnen, welcher sich auf Reisen begiebt, bei der Entscheidung über die Rangabstufungen, welche er seinen verschiedenen Aufgaben geben will, und über den Grad, in welchem er die Messung unter dieselben aufnehmen will, massgebend sein müssen. Es kommt jedoch auch darauf an, inwieweit die kartographische Grundlage des von ihm zu besuchenden Landes festgelegt ist. Er wird danach vor allem zu entscheiden haben, ob er astronomische Ortsbestimmungen zu machen hat oder ob es genügt, seine Aufnahmen in das bestehende Netz derselben einzutragen.

Unerlässlich sind astronomische Ortsbestimmungen für denjenigen, welcher sich in ein unbekanntes Land begiebt. Als Regel sollte man sich dabei setzen, lieber wenige und genaue als zahlreiche und oberflächliche Längenbestimmungen auszuführen, dagegen die geographische Breite möglichst oft festzulegen. Eine Anleitung dazu liegt, wie erwähnt, nicht im Plane dieses Buches, da sie an vielen Stellen, häufig über die an einen Reisenden zu stellenden Anforderungen hinaus, gegeben ist.

Sind in dem zu besuchenden Lande die Längen und Breiten einzelner Punkte schon früher festgelegt worden, ist aber das Kartenbild unvollkommen, so kann derjenige, welcher Neigung dazu besitzt, die alten Bestimmungen kontrollieren und dazu noch andere Punkte astronomisch festlegen. Dies ist unbedingt dort anzuraten, wo das vorhandene Netz grosse Lücken aufweist. Sind diese gering, so wird die angedeutete Arbeit zwar als verdienstlich und dankenswert anerkannt werden; aber sie sollte nur von demjenigen ausgeführt werden, welcher sie sich als erstes Ziel setzt und durch die Genauigkeit seiner Beobachtungen die früheren wirklich zu berichtigen vermag. Für denjenigen, dessen Zweck naturwissenschaftliche Forschung ist, ist zu bemerken: 1) dass man sich mit einer Anzahl von Instrumenten beschwert, welche durch Anschaffung und Transport bedeutende, den übrigen Reisezwecken zu entziehende Kosten verursachen, ausserdem durch die auf sie zu verwendende Vorsicht lästig werden und unter Umständen wegen ihres mysteriösen Charakters

die Reise gefährden können; 2) dass die Operationen viel Zeit erfordern und man ihnen häufig die Nachtruhe opfern muss, sodass die auf die sonstigen Beobachtungen zu verwendende Zeit und Arbeitskraft erheblich beeinträchtigt werden; 3) dass bei flüchtiger Bereisung Genauigkeit nur innerhalb gewisser, zuweilen nicht unbedeutender Fehlergrenzen erzielt wird, und bei der sich mehrenden Zahl der Forschungsreisen die Möglichkeit zu gewärtigen ist, dass die mühsam errungenen Zahlenwerte bald durch genauere ersetzt und daher einfach beseitigt werden. Als durchaus überflüssig für den, der ein Land in irgend welcher Beziehung in grossen Zügen zu erforschen gedenkt, muss die Anwendung exakter geodätischer Methoden hingestellt werden, wie genaue Basismessung, Triangulierung und Nivellement. Nur wo es sich darum handelt, sehr kleine Gebiete, z. B. Stätten alter Kultur, mit Präzision aufzunehmen, sind sie erforderlich. Sie fallen daher ausserhalb des Rahmens dieses Buches.

Jeder Reisende, welcher die Erforschung eines Landes nach den Gesichtspunkten der physischen Geographie und Geologie erstrebt oder sich andere naturwissenschaftliche Beobachtungen zur obersten Aufgabe setzt, sollte es sich zur ersten Regel machen, diesen Zwecken den besten Teil seiner Kraft zu widmen und, wenn es nicht unbedingt anders erforderlich ist, sich mit einer allgemeinen Kartenaufnahme zu begnügen. Dieser aber muss er mit voller Aufmerksamkeit und ohne Unterbrechung einen Teil seiner Thätigkeit zuwenden. Ihm wird die Erdoberfläche selbst ein naturwissenschaftliches Objekt, die Bestimmung ihrer Gestalt ein Teil seiner Aufgabe. Durch die verständnisvolle Darstellung dieser Gestalt wird er eine höhere Leistung vollbringen, als wenn er einzelne additionelle Punkte in einem schon bestehenden Netze noch so sorgfältig festlegt oder einzelne Linien mühselig und genau abmisst.*) Es kommt in

*) Die Interessen erfolgreicher Reisender sondern sich in der Regel nach Gruppen. Manche haben wesentliche Dienste dadurch geleistet, dass sie ihre ganze Aufgabe in der möglichst exakten Bestimmung einzelner Punkte erblickten, ohne sich um die geographische Bedeutung dieser Punkte oder die Natur des zwischengelegenen Landes zu kümmern. Da sie in der Nacht arbeiten, verschlafen sie oft am Tage den Reiseweg. Ihre Karten bestehen zuweilen nur aus genau festgelegten Punkten, welche durch gerade, den Reiseweg darstellende Linien verbunden sind. Höchstens werden die Unebenheiten des Landes durch zwei, den Linien zu beiden Seiten entlang

einem neuen oder wenig bekannten Lande vor allem darauf an, die Plastik in ihren allgemeinen Zügen zu kennen. Als das weitaus wichtigste Instrument für denjenigen, welcher sich dieses Ziel setzt, bezeichneten wir das Auge, das heisst denjenigen Forscherblick, welcher das Unwesentliche auszuscheiden, das Wesentliche aber zu einem Ganzen zusammenzufügen versteht. Für ihn sollen die künstlichen Instrumente nicht die Hauptsache, die Beobachtung mittelst derselben nicht Selbstzweck sein. Sie sollen erst in zweiter Linie stehen und dem Auge dazu verhelfen, die geometrischen und stereometrischen Wahrnehmungen, d. h. die Entfernungen, die Winkelabstände, die Erhöhungen und Vertiefungen, die Neigungen des Bodens durch Zahlen auszudrücken und die graphische Darstellung mittelst Zirkel und Lineal zu ermöglichen. Das Bild soll vor allem wahr sein; dies ist viel nötiger, als dass sofort einzelne Details auf Kosten des allgemeinen Bildes mathematisch genau zurechtgerückt seien.

Die Bestimmungen der Bodengestalt haben nach den horizontalen und vertikalen Komponenten zu geschehen. Als Masseinheit muss jetzt der Meter benutzt werden, obgleich seine Anwendung in vielen Fällen unbequem erscheinen mag.

1. Messung in der Horizontale.

§ 14. Der Reiseweg ist die Grundlinie, an welche die Darstellung der weitern Umgebung anzuschliessen ist. Das erste Problem ist aus seiner Länge und Gestalt zwischen einem Anfangspunkte und einem Endpunkte die Entfernung dieser beiden Punkte und die Kompassrichtung ihrer Verbindungslinie zu bestimmen.

Sind die beiden Endpunkte nach geographischer Länge und Breite bestimmt, so ist auch die durchschnittliche Richtung des Reiseweges bekannt, und dieser ist mit den aufgezeichneten

laufende Bergraupen angedeutet. Durch die Konstruktion dieser toten Skelettkarte geben sie ausserordentlich wertvolles Material für denjenigen, welcher die Erdoberfläche von naturwissenschaftlichem Standpunkte betrachtet und sie in allen Einzelheiten und Charakterzügen des Reliefs darstellen möchte, aber für die genaue Festlegung der Punkte gewöhnlich viel zu wenig Interesse hat. Ein drittes Extrem bilden diejenigen Reisenden, deren Interesse in dem Menschen und seiner Kultur aufgeht. Sie haben häufig keinen Sinn für die mathematische Aufgabe und geringes Verständnis für die Formen der Erdoberfläche.

Windungen und Biegungen zwischen die beiden Punkte einzutragen. Diese Operation ist so oft vorzunehmen, als man einen astronomisch festgelegten Punkt erreicht oder die Lage eines Ortes selbst in dieser Weise bestimmt. Indessen kommt es auch darauf an, die Länge des einzelnen Tagemarsches und einzelner Strecken desselben zu berechnen. Dies zu thun, ist wesentlich Sache der Uebung. Auf einer Ebene kann vermittelst des Pedometers oder Schrittzählers ein befriedigender Grad von Genauigkeit erreicht werden, wenn man die mittlere Länge der eigenen Schritte oder besser von 100 derselben kennt. Sie lässt sich z. B. ziemlich genau aus der Zahl der Umdrehungen eines Wagenrades berechnen. Wenn man den Umkreis eines Rades genau kennt, kann man dieses eine gewisse Strecke weit rollen und aus der Zahl der Umdrehungen die Länge der Strecke finden. Schreitet man diese ab, so lässt sich daraus wiederum die mittlere Schrittlänge ableiten. Doch ist der Pedometer nur bei ruhigem und gleichmässigem Wandern auf ebenem Boden anzuwenden. Steigt letzterer an, so werden die Schritte kürzer, fällt er ab, so werden sie länger. Da die Verkürzung im erstern Falle grösser ist als die Verlängerung im zweiten, so wird bei einem Passübergange von gleichmässigem An- und Abstiege das Mittel aus der Gesamtzahl der Schritte das Normalmass der letzteren nicht erreichen. Der Pedometer versagt daher seinen Dienst überall bei geneigtem Boden. Aber auch in der Ebene muss in Betracht gezogen werden, dass er jede stärkere Bewegung markiert und dieselbe als Schritt bezeichnet. Bei Reisen zu Wagen ist die Anbringung eines Hodometers an die Achse eines Rades zweckmässig. Man kann die Anzahl der Umdrehungen unmittelbar ablesen. Aber gerade in unerforschten Gegenden kommt man selten in den Fall, diese Instrumente anwenden zu können.

Der Reisende muss sich daher in Ermanglung eines unter allen Umständen anzuwendenden Messinstrumentes darauf einüben, die Zeit in Wegelänge umzusetzen. Dies gelingt bald für die Fusswanderung, wenn man die Versuche auf einer nach Kilometern graduierten, bald ebenen, bald ansteigenden Poststrasse und dann in einem Gebirge, von dem genaue Karten vorhanden sind, auf Pfaden, deren Länge gemessen werden kann, anstellt. Man gelangt dazu, unter Eliminierung der stets nach der Uhr zu bestimmenden Aufenthaltszeiten, die

Länge des in einer gegebenen Anzahl von Stunden zurückgelegten Weges mit Berücksichtigung der eventuellen Steigungen desselben überraschend sicher abzuschätzen.

Bei Reisen mit Kamelen oder mit einem Zuge bepackter Maultiere, welche einen sehr gleichmässigen Gang haben, kommt man ebenfalls bald zu benutzbaren Resultaten. Schwieriger ist dies, wenn man zu Pferde ohne Begleitung von Packtieren reist. Aber auch dann bringt die Uebung eine wachsende Genauigkeit. Wer dem Gegenstande fortdauernd Aufmerksamkeit widmet, wird nach einigen Monaten die Länge des täglich zurückgelegten Weges mit Hülfe der Uhr ziemlich genau bestimmen können.

Die Gestalt des Weges lässt sich nur mittelst des Kompasses oder des (hier wegen seiner umständlicheren Handhabung nicht in Betracht gezogenen) Theodoliten festlegen. Wo immer man mit dem Auge nach einem entfernteren, noch zu erreichenden Punkte des Weges hin- oder nach einem früher berührten Punkte desselben zurückblicken kann, muss man die Richtung mit dem Azimutkompass genau bestimmen; ebenso hat man, wo der Weg, wie es auf ebenem Boden häufig der Fall ist, auf eine grössere Strecke gesehen werden kann, die Mittelrichtung desselben festzusetzen. Die zur Erreichung eines vorher gepeilten Punktes erforderliche Zeit wird genau notiert. Alle kleineren Abweichungen müssen besonders aufgezeichnet werden. In sehr vielen Fällen kann man überhaupt einen grössern Ueberblick nicht erlangen und ist ganz darauf angewiesen, die kleinen Krümmungen einzeln zu bestimmen und aneinander zu setzen. Dazu würde die Anwendung des Azimutkompasses zu umständlich sein. Man muss daher beim Reiten wie beim Wandern in solchem Falle einen Taschenkompass und eine Uhr fortdauernd zur Hand haben und auf den Blättern eines Papierblockes oder im Rohbuche provisorische Aufzeichnungen mit Angabe von Zeit und Richtung machen. Es ist unvermeidlich, dabei viele kleine Fehler zu begehen; aber da die Zeichnung auf der Beobachtung von solchen Instrumenten beruht, welche die Gefahr eines konstanten zu viel oder zu wenig in einer oder der andern Richtung an sich nicht involvieren, so kompensieren sich die Fehler in auffälliger Weise. Ebenso kompensieren sich die Fehler einzelner Tage, und es gewährt dem Geübten, wenn er am Ende eines mehrtägigen, schwierig niederzulegenden Weges an einem astronomisch bestimmten Orte ankommt, stets aufs neue eine freudige Ueberraschung, zu sehen,

wie nahe der aus den Reiseskizzen sich ergebende Endpunkt des Weges mit diesem Orte zusammenfällt. Zuweilen sind die Krümmungen so zahlreich und klein, dass man sie nicht einzeln aufzeichnen kann. Aber man lernt bald von einer bestimmten Wegstrecke den Bruchteil abziehen, um welchen sie durch die Krümmungen vermehrt wurde. Wo Baumwuchs oder die Nähe der beiderseitigen Wände eines gewundenen Flussthales die Peilung grösserer Wegstrecken gänzlich hindern, genügt es, einen Taschenkompass vor sich hin zu halten und kontinuierlich zu beobachten. Auch gewöhnt man sich daran, mit Berücksichtigung der Tageszeit die Richtung des Schattens als Anhalt zu benutzen und daraus annähernd richtige Mittelwerte abzuleiten.

Jede Zeichnung, auch die kleinste, ist mit dem Datum und wo möglich mit der Tagesstunde zu bezeichnen. Arbeitet man mit losen Blättern, so sind diese ausserdem zu numerieren. Auch das Geringste muss aufbewahrt werden. Bei Aufzeichnung des Weges hält man das Blatt vor sich in der Richtung des letztern und beginnt die Einzeichnung am untern Rande. Wo die Zeichnung abbricht, um auf einem andern Blatte fortgesetzt zu werden, wird der Punkt des Aneinanderstossens auf beiden Blättern angegeben.

Sehr wichtig ist es, die Wegzeichnung vom ersten Aufbruche an zu beginnen. Es ist mir selbst geschehen, dass ich von der Voraussetzung ausging, die Umgebung einer von europäischen Kaufleuten bewohnten Hafenstadt müsse aufgenommen sein, und die Wegzeichnung erst am zweiten Tage begann, nachher aber zu meinem Verdrusse erkennen musste, dass der Anfangspunkt meiner Karte nur mit der Möglichkeit eines nicht unbedeutenden Fehlers angesetzt werden konnte.

§ 15. Das zweite Problem besteht in der Einzeichnung der weitern Umgebung von der Weglinie aus. So weit das Auge reicht, ist die Gegend in die Karte aufzunehmen. Dies geschieht mittelst kombinierter Kompasspeilungen. Wenn sich von einem Orte *a* eine Rundsicht auf Gebirge bietet, so stellt man den Theodolit oder den Azimutkompass auf und beobachtet die Richtungslinien aller bemerkenswerten Gegenstände, wie Berggipfel, tiefe Einschartungen im Gebirge, Anfangs- und Endpunkt eines Gebirges, den Durchbruch eines Flusses durch dasselbe, grössere Ortschaften, auffallende Bauwerke u. s. w. Am besten ist es, mit wenigen Strichen die Grenzlinien des Gesichtsfeldes ringsherum, oder in dem Teile, welcher die

bemerkenswertesten Gegenstände enthält, aufzuzeichnen und die letzteren mit Nummern oder Ziffern oder mit den den Ortschaften und Gipfeln zukommenden Namen zu bezeichnen und bei jedem die Kompassrichtung und zugleich die geschätzte Entfernung, bei Bergen auch die geschätzte Höhe, einzutragen. Man geht dabei von einem Punkte des Kompasses aus und beobachtet von ihm aus in dem ganzen Umkreise des Horizontes. An einem Orte *b*, der vom ersten 10 km entfernt sei, beobachtet man wieder, vielleicht indem man sich auf eine benachbarte Anhöhe begiebt, die eine freie Aussicht gewährt. Abermals werden die Begrenzungslinien des Horizontes gezeichnet und für die einzelnen Gegenstände des frühern Gesichtskreises, soweit sie noch sichtbar sind, die früheren Zeichen angewandt, neu in Sicht kommende mit neuen Bezeichnungen belegt. Wiederum trägt man die Entfernungen nach Schätzung ein. Die beiden Peilungslinien für denselben Gegenstand, z. B. einen Berggipfel, ergeben seine Lage an ihrem Schnittpunkte. Es können auch zwischen *a* und *b* vereinzelte Peilungen nach besonders auffälligen Punkten eingeschoben werden, und wenn man über *b* hinaus ist, hat man noch immer von einzelnen Aussichtspunkten, wo sich neue Panoramen bieten, die Richtungslinien nach den früher gepeilten Gegenständen zu nehmen, so lange dieselben in Sicht sind. Selbstverständlich wächst die Sicherheit der Lokalisierung eines Gegenstandes mit der Anzahl und gegenseitigen Entfernung der Richtungslinien, die von dem Reisewege aus genommen werden.

Dies ist indessen nicht genügend. Aus einzeln festgelegten Berggipfeln würde man die Gebirge nachträglich unrichtig konstruieren Daher sollte man neben den Profilzeichnungen auch von Zeit zu Zeit kleine planimetrische Landkartenskizzen entwerfen, indem man, am besten mit Buntstift, die Gebirge und Thäler so aufzeichnet, wie man sie von seinem Standpunkte aus auffasst. Diese Auffassung ist, wenn sie sich über die unmittelbare Nähe hinauswagt, Irrtümern sehr ausgesetzt. Aber durch neue Aufzeichnungen von anderen Punkten aus können diese oft bis zu einem gewissen Grade berichtigt werden.

2. Zusammenstellung der Karte.

§ 16. An jedem Abende wird die während des Tages zurückgelegte Weglinie nebst der ganzen umgebenden Landschaft aus den einzelnen Skizzen zusammengestellt. Die Kompassrichtungen

werden nach Eliminierung des Deviationsfehlers sorgsam eingetragen. Mit Hülfe der unterwegs angefertigten Skizzen kann man die Gebirge entwerfen.

Je geübter der Blick ist, desto grösser wird die Scheu, die Karten sogleich in grösster Vollständigkeit zu zeichnen, da man dann die Fehler kennt, denen man leicht anheimfällt. Allein man sollte davor nicht zurückschrecken. Der Reisende darf sich bewusst sein, dass er allein den Schlüssel für das Verständnis einer zum erstenmal von ihm mit forschendem Blicke durchwanderten Gegend hat, dass er allein die Fortsetzung der Gebirge, die er überschreitet, mit einigem Grade von Wahrscheinlichkeit anzugeben und damit Verständnis in das Kartenbild zu bringen vermag. Er ist dazu am meisten befähigt, solange er sich an Ort und Stelle befindet, und wird es desto weniger, je längere Zeit seit seiner Anwesenheit verflossen ist. Nach der Heimkehr vermag er die Notizen allein zum Entwurfe eines plastischen Bildes kaum mehr zu verwerten; und noch weniger vermögen dies andere zu thun, in deren Hände die Aufzeichnungen gelangen. Manche haben auf Grund exakter und guter Beobachtung nach ihrer Rückkehr Karten ihrer Reisewege konstruiert, auf welchen nur diese, kaum mit Berücksichtigung der allernächsten Umgebung, angegeben sind, die weitere Umgebung aber gänzlich vernachlässigt und ein Versuch zur Vervollständigung der Karte überhaupt nicht gemacht worden ist. Solche Karten vermögen nur durch beigefügte Höhenmessungen eine entfernte Idee von dem mehr oder weniger bergigen Charakter des Landes, aber niemals einen Begriff von der Anordnung der Gebirge in demselben zu geben. Nur durch zeitweilig ausgeführte Ortsbestimmungen wird ihr Wert zuweilen erhöht; das wiegt aber jenen andern Nachteil nicht auf. Wer einmal den Versuch macht, die Karten unterwegs und zwar allabendlich zu konstruieren, der wird von selbst dazu getrieben werden, alles einzutragen, was in seinen Gesichtskreis getreten ist, und, da dann die Begier zu wissen, was jenseits desselben liegt, ausserordentlich intensiv ist, sich veranlasst fühlen, Erkundigungen darüber einzuziehen und deren Ergebnisse ebenfalls einzutragen. Die Zeichnung der Karte selbst leitet täglich zu Fragestellungen, die man sonst nicht thun und deren Unterlassung man später bereuen würde. Es ist nun nicht zu leugnen, dass der Geolog einen ungemein grossen Vorteil betreffs der Vervollständigung der Karte vor demjenigen voraus hat, der auf die Beobachtung

der äusseren Formen allein angewiesen ist. Die Lagerung und das Streichen der Schichten geben ihm eine Fülle von Anhaltspunkten für Kombinationen, die der andere scheuen muss. Wenn er ein Gebirge von steil überschobenen, einander vollkommen parallelen Falten verquert, so weiss er, dass dasselbe mit sehr überwiegender Wahrscheinlichkeit weithin fortsetzt, auch wenn es sich in der Plastik nur wenig hervorhebt, und er wird die Wahrheit seiner Vermutung durch Fragestellung leicht ergründen. Kommt er dann an eine Verwerfung von Tausenden von Metern, an welche ein Tafelland grenzt, so schliesst er, dass die dadurch bedingte Grenze von zwei verschiedenen Formen des Reliefs geradlinig fortsetzt. Sind beide Beobachtungen bei der Wanderung in einem tief und eng eingeschnittenen Flussthale gemacht, so wird der Topograph nur eine fortlaufende Rinne verzeichnen können, ohne ahnen zu können, wie sich der Gebirgsbau jenseits der sichtbaren Einfassung entwickelt, während der Geologe sich von selbst getrieben fühlt, Faltungsgebirge und Tafelland als solche scharf zu charakterisieren und Thatsachen zu sammeln, welche es ihm ermöglichen, die weitere seitliche Ausdehnung beider Typen festzustellen und in die Karte einzutragen. In Ermanglung der Fähigkeit zur Vervollständigung der Karte über den Reiseweg hinaus wird der Topograph leicht das Schwergewicht auf einzelne exaktere Bestimmungen legen; der Geologe wird mehr das grosse Ganze ins Auge fassen und leichter im stande sein, aus flüchtiger Begehung ein Charakterbild des Landes in der Karte wiederzugeben.

Es bedarf kaum des Hinweises, dass der Reisende auf die Karte möglichst vieles eintragen sollte; zunächst alle Ortschaften mit ihren Namen, dann das Kulturland, das Waldland, das öde Land und andere Gegenstände, welche in verschiedenen Erdräumen von sehr verschiedener Art sein können. Die Namen von Ortschaften, Bergen und Flüssen sind zunächst genau nach dem Gehöre niederzuschreiben, wobei man sich des Lepsiusschen Standard-Alphabetes oder auch eines selbstgewählten bedienen kann. Wo die Eingeborenen eine besondere Schrift haben, sollte man ein besonderes Verzeichnis von Namen anlegen, welche man von jenen niederschreiben lässt. Eine Bezeichnung deutet die Beziehung eines jeden derselben zu seinem Orte auf der Karte an. Dies ist vor allem nötig in China, dann in den Ländern der arabischen Schrift. Wünschenswert ist es auch bei Malayen und Siamesen.

3. Messungen in der Vertikale.

§ 17. Hinsichtlich der Höhen ist der Reisende bei noch so flüchtiger Fortbewegung in der glücklichen Lage, Messinstrumente zur Erlangung positiver Zahlenwerte benutzen zu können. Die Messungen sind teils solche, welche die Festsetzung der relativen Höhenunterschiede einer meist grössern Zahl nahe beieinander gelegener Punkte bezwecken, teils solche, welche die Bestimmung der absoluten Höhe einzelner ausgewählter Punkte, d. h. ihrer Erhebung über die Meeresfläche, zum Ziel haben. Für die ersteren wählt man bestimmte Ausgangsorte, welche als Nullpunkt dienen. Es kann dazu die tägliche Aufbruchsstation für die am Tage entlang dem Reisewege zu machenden Beobachtungen verwendet werden; oder eine Centralstation in einem Thale, welche als Basis für die umliegenden Höhen benutzt wird; oder ein entfernterer Ort, an welchem die zur Vergleichung heranzuziehenden Barometerbeobachtungen ausgeführt werden. An Meeresküsten fallen absolute und relative Höhen zusammen. Die Gesamtheit der relativen Höhen einer Gegend kann nur durch das Auge erfasst werden. Messinstrumente ergeben zwar allein zuverlässige Resultate, haben aber den Nachteil, dass diese sich nur auf Punkte beziehen.

Die genauesten Höhenmessungen werden mittelst des Präzisionsnivellements ausgeführt. Mit diesen hat sich der Reisende nicht abzugeben.

Demnächst sind als die wirksamsten Instrumente, jedoch nur zur Bestimmung relativer Höhen von Bergen, diejenigen zu bezeichnen, vermittelst welcher man den Elevationswinkel messen kann. Universalinstrumente und Theodolite werden dazu verwendet. Sie gewähren den grossen Vorteil, dass man mit ihnen Berge messen kann, ohne sie zu besteigen. Dennoch soll hier nicht darauf eingegangen werden, weil sie nur dann mit Genauigkeit angewandt werden können, wenn man zugleich exakte Messungen in der Horizontale ausführt, diese aber hier ausgeschlossen wurden. So ungern man den Theodolit zuweilen vermissen wird, belastet doch das Instrument, ebenso wie die Arbeit, denjenigen, der in naturwissenschaftlichen Zwecken reist, zum Nachteil seiner eigentlichen Thätigkeit.

Es bleiben dann von Instrumenten zum Messen von Höhen nur noch der Quecksilberbarometer, das Aneroid und der Kochthermometer übrig. Einiges über dieselben ist

oben (§ 5) gesagt worden. Am richtigsten ist es, wie dort bemerkt wurde, neben einem an der Hauptstation verbleibenden Quecksilberbarometer drei gute, auf einem Observatorium unter der Luftpumpe geprüfte Aneroide mit sich zu führen, von denen man nur eines in Uhrgestalt in der Westentasche bei sich trägt, während die anderen sich, lediglich zum Zwecke zeitweiliger Vergleichung, bei dem Gepäcke befinden. Jedes Aneroid sollte mit einem Thermometer versehen sein, der die Temperatur des Instrumentes angiebt. Macht man eine mehrtägige Rast, so werden die Instrumente nebeneinander aufgehängt und vergleichend abgelesen.

Der Stand des Aneroids wird an jedem Nachtquartiere sogleich beim Eintreffen, am späten Abende, am frühen Morgen und im Momente des Aufbruches notiert. Unterwegs wird es an jedem bemerkenswerten Orte, insbesondere bei Flussübergängen, auf Passhöhen und auf Berggipfeln abgelesen. Man notiert dazu die Temperatur des Instrumentes, die Temperatur der Luft, sowie hin und wieder den Stand des Psychrometers, dazu auch Windrichtung, Niederschläge u. s. w. Die genaue Ausrechnung der Höhen verschiebt man bis zur Rückkehr von der Reise; doch berechnet man sich gern unterwegs annähernd die relativen Höhenunterschiede. Für geologische Zwecke werden diese wichtig.

Besteigt man einen höhern Berg, so ist es gut, mehrere Aneroide mit sich zu führen und ihren Stand in wenigstens zwei verschiedenen Höhen mit demjenigen des Kochthermometers zu vergleichen.*) Ausserdem ist das (in § 5 angeführte) Horizontglas dabei ein wichtiges Instrument. Ueberragt der zu besteigende Berg die umgebenden Gipfel, so kann man während der Besteigung die letzteren mit Hülfe dieses Glases messen, indem man das Aneroid abliest, wenn man sich auf gleicher Höhe mit dem einen oder dem andern Gipfel befindet.

Kann man nun auch ziemlich befriedigende Werte für die relativen Höhenunterschiede erhalten, so geben doch die Barometer in allen Formen nur approximative Werte für die

*) Es ist zu beachten, dass bei schneller Aenderung der Höhenlagen, wie sie sich bei der Besteigung eines steilen Berges vollzieht, das Aneroid einer gewissen Zeit bedarf, um den dem Höhenunterschiede entsprechenden Stand einzunehmen. Diesen Trägheitsfaktor muss man bei den einzelnen Instrumenten genau kennen; seine Vernachlässigung verursacht nicht unerhebliche Fehler.

absoluten Höhen. Sie werden um so brauchbarer, je näher die Vergleichsstation sich befindet (vorausgesetzt, dass man deren absolute Höhe kennt) und je länger die Zeit, durch welche die Beobachtungen fortgesetzt worden sind. Daher ist der täglichen mehrmaligen Ablesung an solchen Stationen, wo der Reisende eine längere Rast macht, besonderer Fleiss zuzuwenden. Solche Stationen werden für die Höhenbestimmungen um so wichtiger, wenn man von ihnen aus verschiedene Ausflüge unternimmt.

Einen Quecksilberbarometer stets mit sich zu führen, kann als äusserst nützlich bezeichnet werden. Aber obgleich er nur wenig Raum einnimmt, ist er doch das lästigste aller Instrumente, sobald man ihn selbst zu tragen hat. Auch wenn man einen zuverlässigen Träger dafür bekommen kann, belästigt er durch die fortdauernde Sorge, die man ihm widmen muss. Ist er in der Lederkapsel eingeschlossen, so reizt er die Neugier der Leute, und ein Moment mangelnder Beaufsichtigung reicht zuweilen für seinen Ruin hin. Am zweckmässigsten fand ich es, besonders in volksreichen Gegenden und in europäischen Gasthäusern, den Barometer frei aufzuhängen, da dann der Anblick die erste Neugier befriedigt. In fremde Länder sollte ein Barometer von keinem mitgeführt werden, der nicht im stande ist, ihn wiederherzustellen, sei es, dass eine neue Röhre zu füllen und einzusetzen oder bei einem Gefässbarometer der Lederabschluss, der in tropischen Gegenden leicht dem Insektenfrasse unterliegt, zu reparieren sei. Jedenfalls muss man eine Anzahl Reserveröhren und ein Gefäss mit Quecksilber mit sich führen.*)

Der Hauptnutzen der Höhen-Messinstrumente bei Forschungsreisen besteht in der approximativen, bei längerem Aufenthalte zu einiger Genauigkeit sich steigernden Bestimmung der absoluten Höhen des Reiseweges in seinen einzelnen Teilen. Besteigt der Reisende einzelne hervorragende Berge, so wird er auch deren Höhe finden. Aber für eine orographische Kenntnis kann er seine Karten nur dann nützlich machen, wenn er möglichst grosse Sorgfalt auf das Schätzen von Höhen nach dem Augenmasse verwendet. Uebung darin gehört zu

*) Eine ausführliche Anleitung zur Ausführung und Berechnung der Beobachtungen mittelst der hier genannten Instrumente giebt das Werk von P. Schreiber: Handbuch der barometrischen Höhenmessungen, Weimar 1877. Eine kurze Zusammenstellung von Tabellen geben Max Kunzes meteorologische und hypsometrische Tafeln. Dresden 1875.

den wesentlichen Erfordernissen. Man kann sie sich erwerben, wenn man sich daran gewöhnt, jede Anhöhe, ehe man sie besteigt, in einzelnen Abstufungen zu schätzen und dann die Richtigkeit der Schätzungen durch das Aneroid zu kontrollieren. Ist man auch erheblichen Irrtümern ausgesetzt, so fördert es doch die richtige Anschauung eines Landes weit mehr, wenn man beispielsweise ein den Weg in einer gewissen Strecke begleitendes Gebirge zu 2500 m relativer Höhe der Gipfel und 1500 m der Pässe, trotz eines möglichen Fehlers von 300 m im ersten und von 200 m im zweiten Falle, angiebt, als wenn man aus Scheu vor dem Aufzeichnen des nicht Gemessenen nur der Existenz eines Gebirges erwähnt und den Beschauer der Karte in der Ungewissheit lässt, ob dasselbe 400 oder 4000 m hoch ist.

§ 18. Jeder Reisende hat sich bei seiner Vorbereitung mit den konventionellen Methoden der Zeichnung der Gebirge in der Horizontalprojektion bekannt zu machen und dieselben praktisch zu lernen. Sie haben den Zweck, das Gebirge in allen seinen Formen plastisch wiederzugeben. Man denkt sich dasselbe entweder von der Seite oder von oben beleuchtet. Die seitliche Beleuchtung lässt die Schattenseite dunkel, die Lichtseite hell hervortreten. Sie zeigt besonders im Hochgebirge die Verzweigungen der Kämme und Rücken mit grosser Schärfe und gewährt dem Laien das anschaulichste Bild. Diese Methode ist zwar bei der Anfertigung von Gebirgskarten der Schweiz, welche mit Recht als Meisterwerke bewundert werden, benutzt worden, ist aber nicht zu empfehlen, weil sie der Richtigkeit entbehrt; denn auf der beleuchteten Seite treten die Wechsel in der Neigung der Gehänge bis zur Unkenntlichkeit zurück, und auch auf der Schattenseite zeichnen sie sich nicht hinlänglich, weil schon schwach geneigte Gehänge den Schattenton erhalten müssen. Diejenigen Methoden, welche von der senkrechten Beleuchtung ausgehen, sollten bei Karten, welche auf wissenschaftlichen Charakter Anspruch machen, allein angewendet werden. Die Ebene bleibt weiss, und es werden dunklere Töne angewendet, je grösser der Neigungswinkel ist.

Die Technik der Darstellung beruht auf der Konstruktion wirklich gemessener oder auch nur idealer Isohypsen, das heisst der Linien gleicher Meereshöhe oder, was dasselbe ist, der Durchschnittslinien ideeller Horizontalebenen mit den äusseren Begrenzungsflächen des Reliefs. Die Abstände der Isohypsen können je nach dem Massstabe der Karte sehr verschieden

gewählt werden. Sie nähern sich einander bei steilen und entfernen sich voneinander bei schwächer geneigten Gehängen. In je geringeren Vertikalabständen die Isohypsen angelegt werden, desto vollkommener wird das plastische Bild, und wenn die Abstände sehr klein genommen werden, lässt sich ein sehr genaues Abbild der Natur mit allen Einzelheiten der Plastik herstellen.

Es gilt nun, dieses selbe Bild durch Abtönen einer Farbe, wozu man Braun (am besten Sepia coloré) zu wählen pflegt, herzustellen. Um die Abtönungen zu entwickeln, kann man sich die Zeichnung eines mit Gehängen der verschiedensten Neigungen versehenen Felshügels mit Isohypsen von 1 m Vertikalabstand in brauner Farbe konstruieren. Betrachtet man dann den zwischen einem Vertikalabstande von 50 m enthaltenen Raum, so wird der steile Abhang dunkel, der sanfte hell erscheinen; die gleiche Farbenmenge ist dort auf einen schmalen, hier auf einen breiten Raum verteilt, der Gesamteffekt dieser Farben ist mit dem Pinsel wiederzugeben.

Der gleiche Effekt wie durch die dichtgedrängten Isohypsen wird durch die bekannte Lehmannsche Strichmanier erreicht, deren Einführung jener andern Methode vorangegangen ist. Sie ist vollkommener als die Technik des Pinsels und setzt gerade deshalb ein sehr genaues Bild voraus. Zuweilen kommt es dem Reisenden auf genaue Wiedergabe kleinerer Verhältnisse an, z. B. der Nebenvulkane auf einem grössern Hauptvulkane; dann ist sie mit Vorteil anzuwenden. Im übrigen ist die Tuschmanier am zweckmässigsten. Sie kann ersetzt werden durch braunen Stift oder weichen und schwarzen Bleistift (wobei die Fixierung durch Milch oder verdünnten Milchkaffee nicht zu vergessen ist). Man ahmt mit dem Stifte die Isohypsenzeichnung nach, ohne bestimmte Zahlenwerte durch die Linien ausdrücken zu wollen.*)

Es ist auf der Reise nicht möglich, ein Gebirge in seinen Details richtig zu zeichnen. Aber die Zeichnung muss wahr sein, sie muss den Charakter des Gebirges wiedergeben. Tief eingerissene Schluchten müssen sich von breiten Thälern, scharfe Kämme und zackige Gipfel von gerundeten Formen, schroffe Felzabstürze von sanften Gehängen unterscheiden. Die zu schematische Durchführung eines erkannten Charakterzuges ist ein geringerer Fehler als charakterlose Bergzeichnung.

*) Die Methoden der Kartenzeichnung sind in dem Kaltbrunnerschen Buche (s. oben S. 13) umständlich behandelt.

Drittes Kapitel.

Klimatische und biologische Beobachtungen.

Es ist nicht der Zweck dieses Buches, ausführliche Anleitung für die Beobachtungen auf meteorologischem, noch weniger für solche auf biologischem Gebiete zu geben. Dieselben sollen nur soweit herangezogen werden, als sie für die Forschungen auf den Gebieten der Geologie und der physischen Geographie des Erdbodens von Wichtigkeit sein können.

A. Beobachtungen über klimatische Faktoren.

§ 19. Kein Reisender, der sich überhaupt Aufzeichnungen angelegen sein lässt, versäumt, Bemerkungen über die tägliche Witterung in seinem Tagebuche niederzulegen. Sie geben zuweilen einigen Anhalt für die Nachfolger, aber eine wissenschaftliche Anwendbarkeit erhalten sie erst, wenn sie in Zahlen ausgedrückt werden. Zwar ist selbst dann ihr Nutzen für generelle Ableitungen meist gering. Dennoch sollte kein Reisender es unterlassen, ausser dem, was er zu den Höhenmessungen braucht, täglich auf die Ablesung einiger Instrumente die dazu erforderliche geringe Zeit zu verwenden. Auch für denjenigen, welcher sich den Erdboden als Gegenstand naturwissenschaftlicher Untersuchung gesetzt hat, hat die Kenntnis örtlicher klimatischer Verhältnisse eine unmittelbare hohe Bedeutung; denn dieselben stehen in kausalem Zusammenhange mit einer Reihe fortdauernd vor sich gehender äusserer Umgestaltungen und tragen daher zu deren Verständnis bei. Andererseits wirkt die Gestalt und Zusammensetzung

der Erdoberfläche als ein ursächliches Moment auf einzelne klimatische Erscheinungen zurück. Der Forschungsreisende vermag daher oftmals die Ursachen örtlicher Abweichungen aufzufinden. Dazu kommt noch ein für die physische Geographie eminent wichtiges Moment. Viele Eigentümlichkeiten der Oberflächenbeschaffenheit eines Landes lassen sich nur aus dem ehemaligen Obwalten klimatischer Verhältnisse erklären, welche den heutigen nicht entsprechen. Man muss daher die letzteren und ihren Zusammenhang mit den ihnen zu Grunde liegenden Bedingungen erkennen, um beurteilen zu können, durch welchen Unterschied in den Zuständen die abweichenden Verhältnisse der Vorzeit bedingt sein konnten.

Angesichts dieser Bedeutung des Klimas, welche für die Forschungsbereiche des Botanikers, des Zoologen und des Ethnographen noch höher ist, muss der Reisende es sich zur Aufgabe machen, einen Einblick in den jährlichen Witterungsgang in einzelnen Gegenden zu erhalten. Dazu helfen ihm Beobachtung und Erkundung. Die eigene Beobachtung ist in der Regel beschränkt. Meist bezieht sie sich an jedem einzelnen Orte auf einen Moment, und dieser fällt oft auf eine ungünstige Tageszeit. Aber selbst damit werden Bausteine geliefert, wenn auch diminutiv und in vielen Fällen kaum weiter zu verwerten. Berühren verschiedene Reisende zu verschiedenen Zeiten dieselbe Gegend, so mehren sich die Bausteine und es wächst ihre Verwertbarkeit, umsomehr, wenn die Beobachtungsreihen sich bei dem einen oder dem andern auf Wochen oder Monate erstrecken und andere zu anderer Jahreszeit dieselben ergänzen. Zuweilen bietet sich dem Reisenden Gelegenheit, an einem Orte, nach welchem er nach längerer Abwesenheit zurückzukehren gedenkt, einer geeigneten Persönlichkeit einzelne Instrumente nach vorher erteilter Instruktion über die Art ihres Gebrauches zu überlassen und dadurch die Reihe der eigenen Beobachtungen zu vervollständigen.

Die Erkundung ergiebt oft wertvolles Material. Manchmal findet es sich, besonders auf Missionsstationen, dass man Beobachtungsjournale antrifft, welche sich auf längere Zeiträume erstrecken und vorher nicht bekannt geworden sind. Intelligente Landleute können über alle Phasen der Feldbestellung, die Zeit des Eintretens des Regens und der trockenen Zeit, sowie über besonders verheerende Regengüsse Aufschluss geben. Manchen Wink erhält man durch die Information über die

Perioden im wechselnden Stande der Flüsse und Seen. Auch volkstümliche Gewohnheiten, ebenso wie das Aussetzen und die Wiedereröffnung des Verkehrs, können Fingerzeige für weiter daran zu knüpfende Fragen geben.

Es soll nun in Kürze auf die Beobachtungen eingegangen werden, welche der Reisende selbst anstellen kann.*)

1. Instrumente für meteorologische Beobachtungen.

§ 20. Der Reisende sollte die folgenden Instrumente mit sich führen:

1) Eine Anzahl Schleuderthermometer zur Bestimmung der Lufttemperatur. Sie werden an einer Schnur im Kreise herumgeschwungen, bis der Stand sich nicht mehr ändert.
2) Einige gute feste Thermometer ohne Schleudervorrichtung zur Beobachtung von Luft- und Wasser-Temperaturen. Sie brauchen auch für die Tropen nicht über 50 bis 60° C. hinauszugehen. Das Quecksilbergefäss sollte plattgedrückt oder cylindrisch sein, um durch Darbietung einer grossen Oberfläche die rasche Annahme der Temperatur zu gestatten. Für sehr kalte Gegenden, in denen das Quecksilber gefriert, sind Alkoholthermometer erforderlich. Für die Messung der Temperatur heisser Quellen sollte man zwei bis auf 100° C. graduierte Thermometer haben.
3) Einen Casellaschen Maximum- und Minimum-Thermometer.
4) Einen Thermometer mit geschwärzter Kugel (Solarthermometer) zur Bestimmung der Insolation. Er muss über 100° C. hinaus geteilt sein.
5) Einen Psychrometer, d. h. ein Paar nach sorgfältiger Prüfung genau übereinstimmende, gut konstruierte Thermometer, von denen einer eine Umhüllung von Baumwollzeug mit

*) Das Studium der Meteorologie und Klimatologie ist gegenwärtig durch eine Anzahl kleinerer Kompendien und grösserer Handbücher erleichtert. Mit Rücksicht auf exakte Behandlung und fassliche Darstellung sind dem Forschungsreisenden zur Vorbereitung besonders die beiden Werke von J. Hann zu empfehlen:

Die Erde als Weltkörper. Prag und Leipzig 1884 (Abdruck aus dem in § 4 genannten Werke);

Handbuch der Klimatologie. Stuttgart 1883.

Als populäres, kleines Kompendium ist H. Klein, Allgemeine Witterungskunde (Leipzig 1882) zu nennen.

lang herabhängenden, zopfartig zusammengeflochtenen Fäden hat.

6) Einen Thermometer für Flusswassertemperaturen. Er muss fest in einer Messinghülse eingeschlossen sein, deren unterer Teil, in welchem die Kugel sich befindet, bei dem Heraufziehen des Instrumentes an Bord eines Schiffes etwas Wasser zurückbehalten kann, da sich die der Luft ausgesetzte Kugel schnell abkühlen würde. Man kann mit diesem Instrumente hinreichend genaue Resultate erhalten.

7) Einen Quecksilberbarometer und wenigstens drei Aneroide nach früherer Vorschrift (s. § 5).

Sämtliche Thermometer sind sorgfältig zu behandeln, da der gänzliche Verlust derselben sehr empfindlich ist. Auf Ersatz guter Instrumente kann man, nachdem man einmal die Heimat verlassen hat, selbst an überseeischen Handelsplätzen nicht rechnen. Auf je längere Zeit die ganze Reise angelegt ist, desto grösser sollte die Zahl der Thermometer sein, welche man mitnimmt. Zum Zweck der Aufbewahrung lässt man für jedes derselben ein röhrenförmiges Säckchen von Barchent anfertigen und schiebt den mit diesem umhüllten Thermometer in eine ebenfalls röhrenförmige Blechkapsel. In dieser einfachen Verpackung leiden die Instrumente nicht leicht Schaden. Sämtliche Thermometer sollten zum Aufhängen eingerichtet sein. Um dies überall thun zu können, hat man einige Baumschrauben stets zur Hand.

2. Temperaturbeobachtungen.

§ 21. Temperatur der Luft. — Die Beobachtung der Lufttemperatur an einem bestimmten Orte hat zum Zwecke die Ermittlung des täglichen und des jährlichen Wärmeganges, sowie der Mitteltemperatur des Ortes für Monate, Jahreszeiten und Jahre. Fragmente dafür vermag der Reisende zu liefern, wenn er an einem Orte längern Aufenthalt nimmt. In solchem Falle sind die Instrumente besonders sorgsam aufzuhängen, einige Fuss über dem Boden, in freier Luft, und doch ebenso vor Regen wie vor direkter und indirekter Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützt. Wo dieser letztere Schutz nicht erreicht werden kann, ist man auf die Beobachtung mittelst des Schleuderthermometers angewiesen. Man notiert den Stand des

Thermometers um 7 Uhr früh, um 2 Uhr und 9 Uhr nachmittags, ausserdem das tägliche Maximum und Minimum; auch sucht man die Stunden zu ermitteln, wann diese eintreten.

Insolation. — Der direkte Effekt der Sonnenstrahlen auf feste Körper gehört wegen des Einflusses der Erwärmung der Erdoberfläche auf diejenige der Luft zu den wichtigsten thermischen Faktoren. Man kann bei der Beobachtung nach zwei Richtungen vorgehen. Einmal setzt man ein und denselben Körper den Sonnenstrahlen an verschiedenen Orten, in verschiedenen Jahreszeiten und in verschiedenen Meereshöhen aus. Dann kann man an demselben Orte gleichzeitig verschiedene Körper auf ihre Erwärmungsfähigkeit durch die Sonne untersuchen. § 22.

Für die ersteren Beobachtungen dient der unter 4 (§ 20) angeführte Thermometer mit geschwärzter Kugel. Grössere Genauigkeit wird erzielt, wenn die Thermometerkugel sich in einer grössern Hohlglaskugel befindet. Auch bringt man jetzt über dem Quecksilberfaden einen Stift an, welcher den Maximalstand während des Tages anzeigt. Das Instrument wird am zweckmässigsten in horizontaler Lage über einer Rasendecke angebracht.

Der Effekt der Insolation auf verschiedene Körper ist meist schwierig zu beobachten. Der Reisende kann sich damit begnügen, die Oberflächentemperatur verschiedener an einer Oertlichkeit vorkommender, in gleicher Weise von der Sonne beschienener Bodenarten zu bestimmen. Besonders sind dunkle, metallreiche und metallarme Bodenarten (Magneteisensand, vulkanischer Tuff, Humus) mit hellfarbigen (Muschelsand, Quarz, Kalksteinboden) zu vergleichen. Schwieriger ist dies bei festem Gesteine durchzuführen; doch kann die Anwendung einer einheitlichen Methode zu Ergebnissen leiten. Pöröse Bodenarten (Löss, Ackererde, feinerdige Tuffe) sollten mit dichteren verglichen werden. Salzgehalt, Mengung mit organischen Stoffen, glatte oder rauhe Oberfläche dürften ebenfalls von Einfluss sein (s. auch § 38).

Wärmeausstrahlung. — Die aufgenommene Wärme wird von der Oberfläche des Bodens wieder ausgestrahlt. Dies ist besonders in der Nacht zu beobachten, weil dann die Quelle der einstrahlenden Wärme fehlt. Einen gewissen extremen Wert findet man durch Vergleichung eines in sternenklarer Nacht der Ausstrahlung ausgesetzten Minimum-Thermometers mit einem andern, welcher normal, d. h. unter einer schützenden § 23.

Decke, aufgestellt ist. Der erstere wird, wenn der Boden mit Vegetation bedeckt ist, horizontal auf niedrigem Rasen angebracht und dabei von Stützen so gehalten, dass er sich in der Höhe der Grasspitzen befindet. Aus der Differenz der beiden Ablesungen ergiebt sich die Grösse der Wärmeausstrahlung. Man kann die letztere ebenso auf pflanzenleerem Boden, auf festem Gesteine und auf Schnee beobachten und dabei die verschiedenen Bodenarten ebenso vergleichen, wie betreffs der Insolation. Man hat gefunden, dass derjenige Boden, welcher die Wärme am leichtesten annimmt, sie auch durch Strahlung am leichtesten abgiebt. Eine Vervollständigung der bestehenden Beobachtungsreihen ist erwünscht, besonders in Steppen und Wüsten. Von den Erscheinungen, welche infolge der mechanischen Wirkungen kräftiger Insolation und starker Wärmeausstrahlung eintreten, wird in einem spätern Abschnitte (§§ 38—40) die Rede sein.

§ 21. Bodentemperatur. — Abgesehen von dem unmittelbaren Effekte der Sonnenbestrahlung auf die Oberfläche von Bodenarten von verschiedener Farbe und Beschaffenheit (§ 22), kann die Temperatur der oberen Erdschichten mit Rücksicht auf Vegetationsbedeckung oder Kahlheit, auf Feuchtigkeitsgehalt oder Trockenheit, auf heitern oder bewölkten Himmel untersucht werden. Die Beobachtung kann dann auf die Frage gerichtet werden, bis zu welcher Tiefe die tägliche Periode von Erwärmung und Abkühlung unter verschiedenen äusseren Bedingungen bemerkbar ist. Die Auffindung derjenigen Tiefe, in welcher auch die jährlichen Temperaturschwankungen aufhören und die invariable Erdschicht erreicht wird, setzt lange und umständliche Beobachtungen voraus und kann nur von denen erwartet werden, welche bei mehrjährigem Aufenthalte an einem Orte Gelegenheit zur Anstellung von Temperaturbeobachtungen in verschiedenen Tiefen haben.

Da die Temperatur der invariablen Erdschicht der mittlern Jahrestemperatur des betreffenden Ortes entspricht und diese daher aus jener abgeleitet werden kann, so ist schon ein annähernd richtiges Resultat von Interesse. Ein solches kann in den Tropen erreicht werden, wo in trockenem Boden schon in Tiefen von $^2/_3$ bis 1 m keine merkbaren Schwankungen mehr stattfinden. Messungen in dieser Tiefe sollten in einer bestimmten Gegend in grösserm Umfange ausgeführt und dafür eine Reihe von Orten gewählt werden, die sich unter verschiedenen Ver-

hältnissen der Pflanzenbedeckung, in verschiedenen Meereshöhen und unter verschiedenen Bedingungen des Niederschlages befinden.

In aussertropischen Gegenden sollte der Reisende es nicht versäumen, die Temperatur des Wassers sehr tiefer Brunnen zu messen, dazu aber nicht versäumen, diese Tiefe selbst festzustellen. Auch Quellentemperaturen können von Wert sein, z. B. dort, wo eine wasserundurchlassende Schicht unter lockerm Erdreiche ungefähr in der Tiefe der invariablen Temperatur liegt und Sickerwasser an ihr hervorquellen (§ 56). Ihre Temperatur sollte an mehreren Stellen festgestellt werden. Wo mehrere undurchlässige Schichten vorhanden sind und Quellen zwischen je zweien derselben hervorkommen, würden deren Temperaturverhältnisse erhöhtes Interesse haben.

Wo in tropischen Gebieten so verschiedene Bodenarten, wie Laterit (§ 206), Regur (§ 217), Sand, fette Alluvien und lockere Schottermassen nebeneinander an der Oberfläche herrschen, sollte ihr Effekt auf die Tiefe der invariablen Erdschicht untersucht werden.

§ 25. Aenderung der Temperatur mit der Meereshöhe. — Je höher man ansteigt, desto mehr nimmt die Insolation zu, weil die Sonnenstrahlen eine geringere Luftsäule durchdrungen, daher weniger Wärme abgegeben haben, und insbesondere die feuchteren Luftschichten, welche die Wärme der Sonnenstrahlen am meisten absorbieren, in der Tiefe bleiben. Der Solarthermometer muss, um in grossen Höhen noch brauchbar zu sein, bis über den Kochpunkt hinaus geteilt sein; denn so hohe Temperaturen kann die geschwärzte Kugel dort annehmen. Die Unterschiede der Temperatur unmittelbar über dem erhitzten Boden von derjenigen der freien Luft betragen häufig 30 bis 60 ° und sind in grosser Höhe bis beinahe 80 ° beobachtet worden. Auch die Temperatur des der Sonne ausgesetzten Erdbodens, und zwar (wie in den in §§ 22 und 24 angegebenen Fällen) gesondert nach Farbe, mineralischem Charakter und Feuchtigkeitsgrad, sollte an hochgelegenen Punkten häufiger gemessen werden. Diese Untersuchungen haben zunächst für die biologischen Wissenschaften Wert; denn die starke Insolation und Bodenerwärmung verursachen das ungemein schnelle Emporkommen, die Blütenpracht und den Artenreichtum in hohen Bergregionen, im Unterschiede gegen die Polargegenden, wo bei gleicher Durchschnittstemperatur und weit längeren Sommertagen doch wegen der Kälte des Bodens die Vegetation

spärlicher und artenärmer ist. Besonders ist die Intensität der durch das Spektrum am meisten gebrochenen, sogenannten chemischen Sonnenstrahlen nach Bunsen und anderen auf Bergeshöhen erheblich bedeutender als im Meeresniveau. Auch darüber sind erweiterte Untersuchungen wünschenswert. Doch werden sie erst bei Vereinfachung der dazu erforderlichen Instrumente und Methoden in den Bereich des Reisenden fallen können.

Der starken Erwärmung steht auch hier eine starke Ausstrahlung gegenüber. Je nach der Länge von Tag und Nacht wird der eine oder der andere Einfluss vorwalten. Die Ausstrahlung sollte gemessen und mit derjenigen an tieferen Stationen verglichen werden. Die Methoden sind die vorher beschriebenen. Bei Schneebedeckung kann man den Thermometer unmittelbar auf den Schnee legen oder in denselben eindrücken; oder man kann ein wollenes Tuch über ihn ausbreiten und den Thermometer auf dieses legen.

Eine dritte Reihe von Beobachtungen bezieht sich auf die Temperatur der Luft. Sie wird bei Tage am besten im Schatten genommen, kann aber auch am Schleuderthermometer annähernd richtig abgelesen werden. Einen Wert erhält die Bestimmung erst dann, wenn sie mit gleichzeitigen Beobachtungen in höheren und tieferen Lagen verglichen werden kann. Wenn man auch im allgemeinen festsetzen konnte, dass die Abnahme der Temperatur bei je 100 m Anstieg in einem grossen Mittel 0,58° C. (mit Schwankungen von 0,30 bis 0,80°) beträgt, so sind doch so viele örtliche Besonderheiten und Abweichungen gefunden worden, dass die Vermehrung sicherer Beobachtungsreihen sehr erwünscht ist. Es ist dabei zu notieren, welchen Feuchtigkeitsgehalt die Luft in den einzelnen Höhen hat, ob die Bewegung der Luft am Gehänge hinauf oder hinab stattfindet, ob die allgemeine Luftströmung auf das Gebirge zu oder von ihm hinweg stattfindet. Die relative Höhe der Temperatur an der untern Ausgangsstation (mit Bezug auf die Erhebung über dem Meere) kommt wesentlich in Betracht, ferner der Grad der Pflanzenbekleidung; selbst die geographische Breite scheint ein nicht unwesentlicher Faktor zu sein. Von grösster Bedeutung aber ist die Gestalt des ansteigenden Grundes und des ganzen Gebirges: ob sich dasselbe isoliert oder als Kamm erhebt, oder in Flächenausbreitungen allmählich ansteigt, oder ob mehrere Bodenformen miteinander wechseln. Die Temperaturabnahme ist langsam, wo flächenartige Ausbreitungen vor-

walten. Sie beträgt hier (soweit die Beobachtungen reichen) im Mittel 0,40° für 100 m Erhebung, geht aber im Sommer bis weit unter diese Grösse herab; denn da in dieser Jahreszeit der Boden eine Wärmequelle für die auflagernden Luftmassen bildet, besitzen diese über einer Hochfläche mehr Wärme als an einem isolierten Berggipfel, wo die Wärmequelle wenig ausgedehnt ist und ein fortdauerndes Umspülen durch kalte Luftschichten stattfindet. Wenn bei einem Anstiege steilere Gehänge mit flachen Thalausbreitungen wechseln, ist daher die Wärmeabnahme im Sommer an ersteren schneller als über letzteren. Umgekehrt ist es im Winter, da dann der Boden der Hochflächen bei Nacht schneller erkaltet als die freie Atmosphäre. Die Luftwärme ist dann über Hochflächen niedriger als auf Berggipfeln oder (in gleicher Höhe) in der freien Atmosphäre.

Wenn hochgelegene flache Landstriche überhaupt im Winter abnorm starker Abkühlung ausgesetzt sind, so wird diese Wirkung gesteigert, wenn ein solcher Landstrich beckenartig von Bergen umgeben wird, gleichviel ob er sehr klein oder sehr ausgedehnt sei, und es ereignet sich dann, dass die Temperatur, wenn man von dem Boden des Beckens nach den Rändern hinaufsteigt, mit der Höhe zunimmt. Dies scheint daher zu kommen, dass die erkaltete Luft an den Gehängen hinabfliesst, sich am Boden des Beckens sammelt und hier stagniert (Hann). Man kennt die Erscheinung in kleinen kesselartigen Becken, wo die Verminderung der Zeitdauer der Sonnenbestrahlung in demselben Sinne erkaltend wirkt; dann in abgeschlossenen Alpenthälern, welche oft in einem grossen Gebiete kalt sind, während Abhänge und Gipfel höhere Temperatur haben; ferner in grossen bergumschlossenen Ebenen, wie der Po-Ebene; endlich in weiter ausgedehnten Gebieten, wie im nordöstlichen Sibirien, wo wenigstens eine Beobachtungsreihe das Bestehen höherer Wärmegrade auf den Bergen zu erweisen scheint.

Es wäre von Interesse, zur Kenntnis dieser erst seit wenigen Jahren genauer untersuchten Erscheinung weiteres Material aus verschiedenen Gegenden der Erde beizubringen. Der Reisende vermag dies vermittelst Thermometerbeobachtungen nicht zu thun, falls ihm nicht solche von mehreren Stationen in verschiedener Höhe zu Gebote stehen; aber er kann aus Thatsachen auf das Obwalten der angegebenen Verhältnisse schliessen. Es hängt mit der Ansammlung kalter Luft in

den Thälern und Becken zusammen, dass in den meisten Alpenthälern die Bewohner die Gehänge, oft mehrere hundert Fuss über den Thalsohlen, zur Anlage ihrer Gehöfte und Dörfer aufgesucht haben; dass in der Tiefe kalte Nebel lagern, während die Luft auf den Höhen trocken und warm ist; dass im Thalgrunde der Frost die Vegetation im Herbste schon zerstört, wenn sie in höheren Lagen noch ohne Schädigung fortbesteht. Wo es bei dem Anbaue von Nutzpflanzen von geringen Temperaturdifferenzen oder der Neigung zu Frösten im Frühjahre und Herbste abhängt, ob sie überhaupt noch kultiviert werden können oder nicht, beschränkt sich daher ihre Pflanzung auf die Hügelabhänge; so bei dem Weinstocke im Rheinthale und bei dem Kaffeebaume im südlichen Brasilien. Zu ähnlichen Beobachtungen werden sicherlich viele andere Gegenden Anlass bieten. Das Erscheinen von Reif und Frost in den Tiefgründen, während man sich in frostfreien Höhen befindet (wie es z. B. im westlichen Randgebiete des Great Basin in Nordamerika häufig der Fall ist) sollte stets notiert werden. Besonders wenn flache Thalgründe mit Schnee bedeckt werden, sind sie zur Ansammlung stagnierender kalter Bodenluft geneigt. Aber erforderlich scheint die Schneedecke nicht zu sein. Die grossen geschlossenen Becken in Innerasien, sowohl die kleineren auf dem tibetischen Hochlande, wie das grosse Tarymbecken in seiner Gesamtheit, ferner diejenigen des eranischen Hochlandes, bis zu den Seen Urmia und Wan, diejenigen Kleinasiens und viele andere sind für die Beobachtung gleichzeitiger Temperaturen in ihrem Boden und an ihren Umrandungen zu empfehlen. Diejenigen, welche im Winter abnorm kalt sind, werden vermutlich im Sommer abnorm hohe Temperaturen zeigen.

3. Feuchtigkeit der Luft, Bewölkung und Niederschläge.

§ 26. Der Wasserdampf in der Luft und seine Kondensation sind klimatische Faktoren von unmittelbarster Bedeutung für das morphologische Verständnis der festen Erdoberfläche. Zu den Gegenständen, welche sich der Beobachtung darbieten, gehört die absolute Menge des Wasserdampfes in der Luft, aus der sich mit Rücksichtnahme auf die Temperatur der Taupunkt und die relative Feuchtigkeit ergeben; ferner der Grad und die Menge der Bewölkung und sämtliche andere Arten des Niederschlages.

Bekanntlich kann die Luft umsomehr Wasserdampf enthalten, je höher ihre Temperatur ist. Sie kann an Wasserdampf $^1/_{100}$ ihres Gewichtes bei 0^0, $^1/_{50}$ bei 15^0, $^1/_{40}$ bei 30^0, $^1/_{20}$ bei 45^0 aufnehmen. Enthält sie dieses Quantum, so ist sie bei der betreffenden Temperatur gesättigt. Die Dämpfe üben dann einen allseitigen Druck aus, der der höchste bei der bestimmten Temperatur erreichbare ist. Steigt die Temperatur, so nimmt der Druck des Dampfes zu, aber es kann auch neuer Dampf aufgenommen werden; sinkt sie, so vermag der Raum nicht mehr so viel Dampf zu fassen wie vorher; ein Teil verdichtet sich zu Wasser, und der übrig bleibende Dampf übt einen geringern Druck nach allen Seiten hin aus. Taupunkt ist die Temperatur, bei welcher der Wasserdampf bei Sättigung des Raumes auf dem Maximum seines Druckes oder seiner Spannkraft steht. Die geringste Erniedrigung der Wärme verursacht Niederschlag.

Der Taupunkt kann auf Daniells Hygrometer direkt abgelesen werden. Die Temperatur der Luft, die auf ihren Feuchtigkeitsgehalt zu untersuchen ist, sei 16^0, der Taupunkt sei bei 12^0 gefunden worden. Bei 12^0 kann die Luft nur 10,5 gr Wasserdampf auf 1 cbm enthalten, bei 16^0 hingegen 13,5 gr. Es ergiebt sich also eine absolute Feuchtigkeit von 10,5 gr in 1 cbm, eine relative von $\frac{10.5}{13.5} = 0{,}78$ Prozent derjenigen Menge, welche die Luft bei 16^0 enthalten kann. Die Menge des Wasserdampfes, welche Luft von jeder einzelnen Temperatur im Maximum enthalten kann, kann aus Tabellen entnommen werden.*) Die relative Feuchtigkeit ist daher leicht zu berechnen.

Ein bequemeres Instrument auf der Reise ist das unter Nr. 5 (§ 20) genannte Thermometerpaar, von denen die Kugel des einen mit Baumwollzeug umhüllt ist und befeuchtet wird (Augusts Psychrometer). Die Beobachtung geschieht an einem schattigen Platze im Freien bei mässig bewegter Luft. Die an beiden Instrumenten abgelesenen Werte werden aufgeschrieben. Absolute und relative Feuchtigkeit werden aus Tabellen entnommen.

Feuchtigkeitsbestimmungen sollten besonders in den grossen Centralgebieten der Kontinente zu verschiedenen Zeiten des Jahres ausgeführt werden; ferner dort, wo die Windrichtungen in grösseren Perioden miteinander wechseln, dann bei Windwechsel überhaupt. Von Interesse sind die Schwankungen von Ort zu Ort in den Thälern und auf den Kämmen oder Gipfeln höherer Gebirge, sowie die grossen Unterschiede an den entgegengesetzten Flanken solcher Gebirge, welche quer gegen eine herrschende Windrichtung ansteigen. Winde, die in Wüsten hinein und aus ihnen herauswehen, ferner Winde

*) Z. B. die in der Anmerkung S. 56 genannten meteorologischen Tafeln von Kunze.

von besonderer Art, wie Föhn, Khamsin u. s. w. (s. § 27), sind ebenfalls besonders zu berücksichtigen.

Die Kondensation des Wasserdampfes in ihren verschiedenen Formen: Wolken, Nebel, Tau, Regen, Schnee, Hagel, sollte stets beobachtet und in ihrer Erscheinungsart im Tagebuche beschrieben werden. Bei der Bewölkung müssen die bekannten Kategorien unterschieden und der Gesamtbetrag nach Zehnteln der Himmelseinteilung geschätzt werden. Besonders geben die hohen Cirruswolken nach Gestalt und Zugrichtung ein anziehendes und wichtiges Objekt der Beobachtung. — Bei den Nebeln sind die in den Thälern lagernden von den an Berggehängen oder um Berggipfel sich bildenden zu unterscheiden. In den Tropen sollte die Zeit ihres täglichen Erscheinens in verschiedenen Höhenstufen notiert werden. — Tau und Reif sind besonders in solchen Gegenden, wo es nicht regnet, wichtige Faktoren für die Vegetation. — Regen und Schnee sollten nach ihrer Quantität gemessen werden. Man kann einen Casellaschen Regenmesser mitnehmen oder sich einen auf der Station konstruieren. Nur auf dieser lässt sich die Messung mit einiger Sorgfalt ausführen. Ueber die Regenperioden, ihre Dauer, die Zeitpunkte ihres Eintretens und Aufhörens wird sich durch geeignete Fragestellung einiges Thatsächliche erlangen lassen. Angaben über die Verstärkung der Regen mit der Annäherung an ein Gebirge sowie an den Gebirgsgehängen hinauf, Feststellung der Höhe, in welcher der grösste Regenfall stattfindet, überhaupt vergleichende Beobachtungen dieser Art, sind sehr erwünscht, werden aber selten mit Genauigkeit geliefert werden können. — Bezüglich des Schneefalles handelt es sich neben der Gesamtmenge um die Höhe, bis zu welcher herab er überhaupt vorkommt, und um die untere Schneegrenze in den einzelnen Jahreszeiten.

Verschiedene Winke, auf welche hier nicht ausführlich eingegangen werden kann, werden sich den meteorologischen Lehrbüchern und Hanns Klimatologie entnehmen lassen.

4. Luftdruck und Luftströmungen.

§ 27. Von den Beobachtungen über den Luftdruck mittelst Barometer und Aneroid ist schon bei den Höhenmessungen (§ 17) gesprochen worden. Für den Reisenden dienen sie lediglich zu letzterm Zwecke. Nur wenn auf einer Station die

Beobachtungen durch eine längere Periode mit grosser Regelmässigkeit fortgesetzt werden, kann ein Beitrag zur bessern Uebersicht allgemeiner Verhältnisse geliefert werden. Wenige werden (vielleicht durch Regenzeit festgehalten) so an die Station gebannt sein, dass ihnen die Musse bleibt, um täglich vom frühesten Morgen bis zum späten Abende in zweistündigen Perioden den Gang des Barometers zu beobachten, wie es eigentlich geschehen müsste. Umsomehr sollte man dies dann zu thun suchen, wenn aussergewöhnliche Witterungserscheinungen eintreten, und die Beobachtungen bis nach deren Ende fortsetzen.

Wind und Richtung des Wolkenzuges, d. h. untere und obere Luftströmungen, sollten hingegen den Gegenstand steter sorgfältiger Aufzeichnung bilden. Auch schwache Bewegungen sind dabei nicht zu vernachlässigen. Es genügt, die Richtung nach den acht Hauptstrichen des Kompasses (der „Windrose“) zu bestimmen und eine Zwischenrichtung nur dann zu notieren, wenn sie entschieden ausgesprochen ist. Für den untern Wind muss auch die Stärke nach Schätzung angegeben werden, wobei man sich einer Skala von 1 (ein sanfter Windhauch) bis 10 (Orkan) bedient. — Auf See wird eine zwölfteilige Skala angewandt. Der Seemann ist an die Schätzung nach derselben, da sich nach ihr die Segelführung richtet, sehr gewöhnt, und der Reisende thut gut, dessen Ziffern, wie sie in den Schiffsjournalen niedergelegt werden, anzunehmen. Grosse Uebung ist zu eigener ziffernmässiger Schätzung erforderlich.

Mit den Windgesetzen muss der Reisende genau vertraut sein, um die Bedeutung und den Zweck seiner Beobachtungen für allgemeinere Probleme zu kennen. Er wird dadurch angeleitet werden, mittelst zweckentsprechender Erkundungen seine Beobachtungen zu ergänzen. Ist ihm der Wert der Kenntnis der oberen Luftströmungen klar geworden, so wird er mit Interesse nicht nur den Gang der hohen Cirruswolken, sondern auch die Richtung, in welcher der Rauch von hohen Vulkanen getrieben wird, verfolgen. Die Drehung des Windes, die damit verbundenen Aenderungen in der Bewölkung und in der Witterung fesseln auf der Reise unausgesetzt die Aufmerksamkeit. Wo dieselbe Reihe von Phänomen sich in regelmässiger Folge mehrfach wiederholt, sollte man bestrebt sein, die dynamischen Vorgänge, welche ihr zu Grunde liegen, zu erkennen und alles darauf bezügliche Material zu sammeln.

Wie ausgedehnte Kontinentalgebiete grösstenteils ihr besonderes System von Luftströmungen haben, so ist oft eine Region von geringem Areale ein Herd von Abweichungen. Es bildet sich in einer solchen Region und um sie herum ein besonderes Schema von meist periodischen Winden aus, welches nur dann geschwächt oder ganz zurückgedrängt wird, wenn die Winde des allgemeinern Systems mit grösserer Stärke wehen. Dies ist der Fall bei isolierten Herden abnormer Erhitzung oder Erkältung, ferner bei einzeln aufsteigenden hohen Bergen, insbesondere Vulkanen. Es gehören hierher auch die Land- und Seewinde an den Küsten, auf die wir später zurückkommen (§ 148); ferner die Berg- und Thalwinde in Gebirgen. Die letzteren wirken bei Sonnenschein aufsaugend auf ihre Umgebung, wie eine Barometerdepression; die Luft strömt in den Thälern hinauf und in der Niederung horizontal nach dem Gebirge zu. Umgekehrt ist ihre Bewegung in der Nacht. In besonderen Fällen kann auch am Tage die Luft abwärts wehen; dies ist der Fall, wenn die Berggehänge kälter sind als die umgebende Luft.*)

Andere Stellen, an denen ein abnormes Eingreifen in eine allgemeinere Luftzirkulation stattfindet, zeichnen sich dadurch aus, dass das Aufsteigen der Luft während des Tages Wolkenbildung, Gewitter und Regen veranlasst, wie dies in manchen tropischen Gegenden täglich zu beobachten ist, während die herabsinkende Luft trocken ist und sich erst am Thalgrunde neu mit Feuchtigkeit beladet. Derartige Erscheinungen sollten sorgfältig beobachtet und auf ihre Ursachen geprüft werden.

Eine interessante Klasse von abnormen Luftströmungen, welchen der Reisende zuweilen begegnen kann, sind die Sturzwinde. Sie sind Luftkaskaden, von einem höhern nach einem tiefern Niveau gerichtet, und wie eine Wasserflut nach diesem herabstürzend. Als ihre Ursache hat man eine hohe Differenz in der Stärke des Luftdruckes an dem Orte, von dem der Wind kommt, und der Stelle, nach der er strömt, und in den mit solcher Differenz allgemeiner ver-

*) Bei Reisen in solchen Gebirgen, welche, wie die Alpen oder Karpathen, häufigem Witterungswechsel unterworfen sind, bietet sich dem Reisenden in den Erscheinungen von Berg- und Thalwind ein selten trügendes Wetterzeichen. Sowie am Tage die Luft in den Thälern abwärts oder bei Nacht aufwärts strömt, ist ein Wetterwechsel zu erwarten.

bundenen Luftbewegungen erkannt. Die Heftigkeit des Sturzes scheint mit der scharfen Sonderung von Strömungsrinnen (wie die Querthäler der Gebirge sie bieten) und der Steilheit des Gefälles zuzunehmen. Die physische Beschaffenheit der Sturzwinde aber ist sehr verschieden. Im allgemeinen kann man kalte und heisse unterscheiden. Kalte Sturzwinde ereignen sich dort, wo kalte Luft bei hohem barometrischen Drucke auf dem Boden eines Sammelbeckens lagert, und eine Scharte in der Umrandung einen Ausweg nach einem tiefern und erheblich wärmern Boden gewährt, in welchem, zufolge eines in der Nähe befindlichen barometrischen Minimums, eine jenes Reservoir gleichsam anzapfende Bewegungsrichtung herrscht. Etwas weniger kalt, aber nicht minder heftig ist der Sturzwind, wenn die Luft nicht durch eine Scharte, sondern über einen niedern Pass entweicht.

Wie Hann gefunden hat, kühlt sich die Luft beim Ansteigen auf geneigter Bodenfläche um ungefähr 0,40 bis 0,50° C. auf 100 m Erhebung ab, dagegen erwärmt sie sich um beinahe 1° C. auf dieselbe Höhendifferenz, wenn sie herabsteigt. Sie kann daher noch relativ kalt an dem untern Orte ankommen. Die Bora und der Mistral des Mittelmeeres sind die bekanntesten der hierher gehörigen Winde. Doch sind sie auch sonst vielfach vorhanden. Ein seit den Reisewerken des 13. Jahrhunderts häufig erwähnter Fall, der noch näherer Untersuchung bedarf, ist an der Südseite des Alakul-Sees, wo die Ebene sich stark erhitzt. Einen ähnlichen Fall kennt man bei den Vulkanen von Ecuador während der regenfreien Monate. In der Ursache wohl nur wenig davon verschieden sind die eiskalten Winde, welche kaskadenartig von den Pässen des Stanowoi-Gebirges in den gegen das Ochotzkische Meer geöffneten Schluchten herabstürzen. Analoge Erscheinungen werden wahrscheinlich in den gegen die erhitzten Ebenen Centralasiens geöffneten Gebirgsschluchten nicht selten zu finden sein.

Hat die Luft ein hohes Gebirge zu übersteigen, so ist der Unterschied der Abkühlung beim Ansteigen und der Erwärmung beim Absteigen so gross, dass sie ausserordentlich heiss und relativ sehr trocken werden kann, besonders wenn sie nicht aus einem kalten Sammelgebiete, sondern aus einer wärmern Gegend jenseits des Gebirges kommt und, indem sie beim Uebersteigen desselben starken Regen verursacht, auch noch die dadurch frei werdende Wärme aufnimmt. Hierher gehören die

Föhnwinde oder heissen und trockenen Sturzwinde, mit deren Wesen sich der Reisende gut bekannt machen sollte.*) Denn sie erweisen sich als eine sehr verbreitete und wichtige klimatische Erscheinung. Selbst in den Tropen giebt es analoge Winde, die man jedoch noch nicht in die Föhnwinde einzuschliessen pflegt.

Eingehender Untersuchung bedürfen noch örtliche Winde einer andern Klasse, nämlich die furchtbar trockenen und heissen, mit Staub beladenen Winde, welche man in Aegypten als Khamsin oder Samum, im südlichen Mittelmeere als Scirocco bezeichnet, und die man von Madeira bis Mesopotamien kennt. Ihr Ursprung wird aus den Wüsten von Nordafrika und Arabien hergeleitet; doch lässt sich ein Grund für das Herausstürzen der Luft aus diesen hoch erhitzten Gebieten nicht erkennen; und es bleibt die Frage offen, ob er nicht ein mit Vehemenz aus der Höhe herabstürzender Wind ist. Die Fortführung der Untersuchungen über die Herstammung des meist roten Staubes, welchen dieser Wind ablagert und insbesondere der darin erhaltenen Organismen, dürfte darüber Aufschluss zu geben im stande sein (s. § 193). Auf Madeira ist der dem Scirocco entsprechende Wind als Leste bekannt. Er kommt aus östlichen Richtungen und führt roten Staub, welcher der Sahara nicht entstammen kann. Obgleich ein Meer von 600 km Breite die Insel von Afrika trennt, ist der Wind äusserst trocken (bis 20 % relat. Feuchtigkeit). Er kann auch aus diesem Grunde nicht ein von der Wüste direkt herüberwehender Wind sein, sondern dürfte aus der Höhe kommen und den heissen Sturzwinden entsprechen.

Als einer andern örtlichen Erscheinung sei der Ablenkung grosser, insbesondere periodischer Windströmungen durch das Relief der Oberfläche, durch Gebirge, Thalebenen und langgezogene Meerbusen, gedacht. Dies lässt sich zwar nur aus längeren Beobachtungsreihen sicher erkennen; aber derjenige, welcher sich überhaupt der Beobachtung der Luftströmungen mit Interesse hingiebt, wird sich stets bemühen, soviel Material als möglich zur Vervollständigung und Vergleichung herbeizuziehen. Insbesondere sollte die Aufmerksamkeit darauf gerichtet sein, inwieweit sich die einzelnen Erscheinungen auf cyklonale Bewegungen zurückführen lassen und diese z. B.

*) Eine klare Darstellung findet sich in Hanns Klimatologie.

bei dem Eintritte der Regenzeit in den Tropen eine Rolle spielen.

5. Anzeichen einer Aenderung des Klimas.

§ 28. Dem wissenschaftlichen Erforscher der Bodenplastik sind, wie wir andeuteten, die meteorologischen Beobachtungen nicht Selbstzweck, sondern nur Mittel zu dem Zwecke, die Bodenformen und den Bodencharakter ursächlich zu verstehen und den wichtigsten bei der letzten Ausgestaltung thätig gewesenen örtlichen Faktor kennen zu lernen. Selten reichen die heutigen klimatischen Zustände vollständig zur Erklärung hin. Fast überall zeigt es sich deutlich, dass früher andere Bedingungen geherrscht haben. Hier ist die Wassermasse, welche ein Fluss gegenwärtig führt, gänzlich unzulänglich für den Absatz der mächtigen Kies- und Schotter-Ablagerungen, die er einst in seinem Bette zusammengehäuft hat; dort finden sich entwickelte Stromsysteme, wo äolische Sedimente besonderer Art auf frühere Abflusslosigkeit hindeuten. An einer andern Stelle besteht der Boden, dessen Oberfläche jetzt mit Kornfeldern bedeckt ist, aus Gletscherschutt. Ein See, der sich jetzt entleert, ist früher abgeschlossen gewesen; ein anderer hat ehemals Abfluss gehabt und ihn später verloren. Es gehört zu den anziehendsten Aufgaben der physischen Geographie, diese wechselnden Zustände, welche in kurz vergangenen Zeiten der Erdgeschichte stattgefunden haben, für jeden einzelnen Erdraum zu studieren. Keine andere baut sich auf dem Wege der Argumentation auf einem so breiten Fundamente von Beobachtungen auf. Neben den äusseren Formen und dem Bodencharakter ist die Verbreitung der Pflanzen und Tiere heranzuziehen; auch historische Urkunden geben oft wichtige Belege. Je eingehender in dieser Beziehung eine Gegend untersucht wird, desto mehr erkennt man in ihr eine Reihe von Phasen, welche durch verschiedene klimatische Zustände ausgezeichnet waren; desto klarer wird es, dass die Gesamtheit der Erscheinungen, welche den Charakter eines Erdraumes bestimmen, sich nur aus der Entwicklung in der Zeit erklären und verstehen lässt.

An dieser Stelle mag es genügen, dahin gerichtete Untersuchungen dem Reisenden anzuempfehlen. Beinahe in jedem der nachfolgenden Abschnitte wird sich Gelegenheit bieten, auf die Methoden hinzuweisen, wie jene in jedem einzelnen Falle anzustellen sind.

B. Beobachtungen über biologische Faktoren.

§ 29. Die biologische Geographie, d. h. die Geographie der Pflanzen und Tiere, lässt sich von zweierlei Gesichtspunkten behandeln. Einerseits kann die heutige Verbreitung dieser Organismen ihren Gegenstand bilden; andererseits können die Kausalbeziehungen der Existenz und Verbreitung derselben zu einer Reihe dynamischer und genetischer Faktoren den obersten Gesichtspunkt der Betrachtung bilden. Die Verkettung ist eine wechselseitige, besonders bei den Pflanzen, indem diese ebenso von Bodenart, Bodenformen, Klima und vormaligen Aenderungen und Entwicklungen der physischen Verhältnisse abhängen, als sie umgekehrt Einfluss auf dieselben Faktoren ausüben.

Derjenige Reisende, dessen Hauptaufgabe in Studien auf den Gebieten der Zoologie oder Botanik liegt, sollte stets beiderlei Gesichtspunkte und Methoden der Forschung im Auge behalten. Er wird dann derjenigen Beobachtungen nicht entbehren können, zu welchen dieses Buch Anleitung zu geben bestimmt ist. Dagegen darf der, welchem die Erdoberfläche an sich Zweck naturwissenschaftlicher Erforschung ist, nicht vernachlässigen, die biologischen Faktoren bis zu einem gewissen Grade in den Kreis seiner Untersuchungen zu ziehen. Denn nur aus der Gesamtheit der Erscheinungen in ihrem ursächlichen Zusammenhange kann das einzelne richtig beurteilt werden.

In vorzüglicher Weise hat der unerreichte Meister in der Pflanzengeographie A. Grisebach eine Anleitung gegeben für die mit einem bescheidenen Masse botanischer Kenntnis auszuführenden Beobachtungen über die Vegetationsformen, welche vermöge der verschiedenartigen Gestaltung der Vegetationsorgane die Physiognomie der Landschaft bestimmen, über die Vegetationsformationen, welche aus der Art der Anordnung der Vegetationsformen hervorgehen, über die Vegetationsregionen, welche nach der Vertikalen angeordnet sind, und über die räumlichen Grenzlinien der einzelnen Pflanzenformen.*) Dies sind Beobachtungsgegenstände, welche sich dem Auge des

*) Neumayers „Anleitung“ (1. Auflage) S. 333—358. — Für das Sammeln von Pflanzen und Tieren, und zum Teil auch für Beobachtungen über dieselben finden sich vortreffliche Anweisungen in den Abhandlungen von G. Schweinfurth, A. Günther, Ed. v. Martens, K. Möbius, A. Gerstäcker, G. Hartlaub und R. Hartmann (ebenda S. 374—504).

Reisenden fortdauernd darbieten. Was er lernen muss, ist einerseits, sich nicht durch das Uebermass örtlicher Einzelheiten beirren zu lassen, sondern den Blick für die Erfassung des Allgemeinen zu schärfen; andererseits, die richtigen Ausdrücke für die Darstellung des Beobachteten anzuwenden. Der genannte Aufsatz giebt eine Zusammenstellung solcher Ausdrücke, welche für den, der nicht Botaniker von Fach ist, als erschöpfend bezeichnet werden kann. Wie sich mittelst derselben, als Farbentönen, ein künstlerisches, die Natur wiedergebendes Bild herstellen lässt, kann man aus desselben Meisters klassischem Werke: „Die Vegetation der Erde“ (2 Bände, Leipzig 1872)*) kennen lernen. Wo Vorbild und Anleitung zugleich in so ausgezeichneter Weise vorhanden sind, kann es hier nicht Aufgabe sein, denselben Gegenstand eingehend zu behandeln. Nur einige kurze Bemerkungen mögen im folgenden Platz finden.

Es gilt zuerst, das Thatsächliche festzusetzen: die charakteristischen Vegetationsformen und die Art ihrer Gruppierung zu Vegetationsformationen; dann die Verbreitung beider nach der Horizontalen und der Vertikalen, nach dem Neigungswinkel und der Himmelsrichtung der Gehänge, sowie nach Boden und Gestein, Quellenreichtum oder Trockenheit des Boden und anderen Gesichtspunkten. Zu dem Thatsächlichen gehört auch das Sammeln der Pflanzen zum Zweck der Bestimmung der Arten. Weitere Gesichtspunkte für die Ergründung der Wanderung der Pflanzen und der Ursachen ihrer heutigen geographischen Verbreitung lassen sich erst nach Feststellung der Arten und der Bedingungen und Grenzen ihres Vorkommens gewinnen.

Worauf hier die Aufmerksamkeit noch insbesondere gelenkt werden möge, sind Beobachtungen über die

Wechselbeziehungen zwischen Pflanze, Klima und Boden.

§ 30. Die Abhängigkeit der Pflanze von Klima und Boden ist Gegenstand der Untersuchung des Botanikers und hat grosse

*) Daneben ist das auf dem Boden neuerer Anschauungen stehende Werk von A. Engler: Versuch einer Entwicklungsgeschichte der Pflanzenwelt. 2 Bände. Leipzig 1879 und 1882, angelegentlichst zum Studium zu empfehlen. Aus dem Werke von A. R. Wallace: Die geographische Verbreitung der Tiere (deutsch von A. B. Meyer, Dresden 1876) lassen sich viele Gesichtspunkte der Forschung über die geographischen Momente in der organischen Welt überhaupt entnehmen.

Bedeutung für die biologische Geographie. Die einschlägigen Beobachtungen sollen hier nicht erörtert werden. Wichtiger ist für unsern Zweck die Wirkung, welche die Pflanzenbekleidung auf das Klima ausübt. Es wurde ihrer zum Teile schon gedacht. Pflanzenleerer Boden, ein Grasteppich und ein dichter Laubwald beeinflussen es in sehr verschiedener Weise. Je dichter und mächtiger die Vegetation, desto geringer ist die Wirkung der Insolation auf den Boden, daher auch desto geringer die Verdunstung von diesem aus. Ebenso verhält es sich mit der Ausstrahlung; daher findet am Tage geringere Erhitzung, bei Nacht geringere Abkühlung statt. Kahler Boden stellt Extreme dar: grasbewachsener zeigt sie in gemilderter Form. Die Feuchtigkeit verschwindet schnell auf kahlen Flächen; sie wird in Wäldern zurückgehalten, kann sich in Bächen sammeln und in den Boden dringen, um in Quellen wieder zum Vorschein zu kommen. In den Kräutern, Sträuchern und Bäumen eines Waldes steigt die Feuchtigkeit durch vegetative Prozesse in die Höhe und verdunstet von den Blattflächen. Die Luft über weiten Waldflächen ist daher konstanter mit Feuchtigkeit beladen und wird im Aufsteigen zu häufigerem Regen Anlass geben. Sie ist zugleich bis zu einiger Höhe, wie der Wald selbst in den tieferen Teilen, ein Hemmnis für die von aussen kommenden Luftströmungen. Diese werden dadurch zum Ansteigen gezwungen, und darin liegt ein weiterer Grund für vermehrte Regenbildung.

Alle diese Wirkungen der Vegetation und des Fehlens der Pflanzenbedeckung auf das Klima üben wiederum Einfluss auf die Vegetation selbst, fördernd oder hemmend. Wo daher dichter Pflanzenwuchs besteht, wirkt er durch seine Existenz auf sich selbst begünstigend zurück und umgekehrt. Hierüber lassen sich allerwärts Beobachtungen anstellen.

Die Einwirkung des Pflanzenwuchses auf den Boden macht sich in mehrfacher Beziehung geltend. Die erste ist rein mechanisch, indem sie ihn vor Zerstörung schützt. Selbst an stark geneigten Gehängen setzt die Waldvegetation dem rieselnden Wasser tausend Hindernisse entgegen und zwingt es in das gelockerte Erdreich einzudringen; nur ein Teil fliesst in Kanälen hinab, wird aber durch die Wurzeln an einer kräftigen Erosion gehindert. In kahlen Landstrichen sind die Regen seltener, aber heftiger; die Gewässer rinnen ungehindert hinab und können ihre volle erosive Kraft zur Geltung bringen. Ueberall, wo waldbedeckte Strecken an kahles Land grenzen, lässt

sich dies beobachten, im kleinen und einzelnen, ebenso wie im grossen und ganzen.

Einwirkung der Vegetation auf Felsboden. — § 31.
Der Pflanzenwuchs wirkt chemisch und mechanisch auf die Auflockerung des festen Gesteins hin; umsomehr, je mehr er durch Feuchtigkeit und Wärme selbst begünstigt wird, und diese beiden Agentien die Arbeit der Pflanzenwurzeln unterstützen können. Die Schurfflechten setzen sich an kahle glatte Felswände an und machen deren Oberfläche rauh und rissig, den Wohnplatz für etwas grössere und höhere Pflanzen bereitend. Diese dringen tiefer ein. Es folgen wieder höhere Pflanzen, die ihre holzigen Wurzeln in die Klüfte hineintreiben und das Gestein sprengen. Wir kommen hierauf in einem andern Abschnitte (§ 42) zurück. Bemerkenswert ist auch bei diesen Vorgängen, dass die Vegetation, welche unter geeigneten klimatischen Bedingungen den für sie passenden zersetzten Felsboden vorfindet, nicht nur die ihr zusagenden Zustände einer von Extremen fernbleibenden Bodentemperatur und der Ansammlung von Feuchtigkeit begünstigt, sondern auch auf die Bodenbildung fördernd zurückwirkt.

Von grossem Interesse würde es sein, die Rolle der Vegetation bei der Bildung verschiedenartiger Zersetzungsprodukte, wie des Lehmes und des Laterites, kennen zu lernen.

Verwesungsboden. Die abgestorbene Pflanze und die § 32.
abfallenden Blätter geben dem Boden mehr zurück, als sie von ihm empfingen, nämlich die aus Bestandteilen der Luft gebildeten organischen Substanzen, zu denen noch die durch sie ernährten, jährlich absterbenden Tiere kommen. Diese Stoffe verwesen, indem sie vermittelst des der Luft entnommenen Sauerstoffes Gase (Kohlensäure, Ammoniak, zuweilen Salpetersäure) entwickeln; nur die festen Verwesungsstoffe oder Humusstoffe bleiben zurück. Sie werden dem Boden einverleibt und erhöhen seine für die Vegetation günstigen Eigenschaften, indem der Humus die Fähigkeit hat, Stickstoff aus der Atmosphäre zu absorbieren und aus ihm Ammoniak zu bilden, von dem er eine grosse Menge zu binden vermag. Der Humus zersetzt sich weiter; es bilden sich eine Reihe von Verwesungssäuren, welche zum Teil Salze bilden, die für die Pflanzenernährung wichtig sind. Doch wiederholt sich die Humusbildung fortdauernd. Für dieselbe sind genügender Luftzutritt, mässige Feuchtigkeit und Wärme erforderlich. Ist der Luftzutritt gehemmt, wie unter

Wasser, daher auch im Untergrunde, so wird die Entwicklung der Kohlensäure gehindert; es bleiben kohlenstoffreiche Körper zurück. Dieser Prozess ist die Vermoderung; er liegt der Bildung von Torf, Braunkohle und Steinkohle zu Grunde (s. § 207).

Der Humusbildung sollte stets Aufmerksamkeit geschenkt werden. In warmen Gegenden ist sie geringer als in kühlen, weil die Zersetzung schneller vorschreitet. In heissen trockenen Ländern bildet sich wenig Humus. Es ist nicht bekannt, welche Umstände es veranlassen, dass die russische Schwarzerde und der Regur (§ 217) in der Oberflächenschicht humusreich sind, während andere Steppen nur wenig davon enthalten. Es ist zu beachten, ob die verschiedene Verteilung des Regens nach Jahreszeiten zu Grunde liegt. In nordischen Gegenden, wo das Wasser wenig verdunstet, waltet die Neigung zur Vertorfung vor.

Die günstigen Wirkungen einer mässigen Waldbedeckung auf das Klima in höheren gemässigten Breiten hängen mit der Humusbildung zusammen; denn der Humus, der hier oft mehrere Fuss mächtig ist, hat eine hohe spezifische Wärme und grosse Kapazität für Wasseraufnahme. Sind jedoch dort die Wälder zu dicht und umfangreich, so befördern sie im Uebermass das Zurückhalten der Feuchtigkeit im Boden.

§ 33. Bodenbildung unter dem Schutz der Vegetation. — Der Pflanzenwuchs kann in rein mechanischer Weise die Bildung des Bodens begünstigen. Abgesehen von dem Schutze, den er diesem vor den Angriffen durch Wasser und Wind gewährt, kann er die Anhäufung lockerer Erde direkt befördern und dadurch eine Wirkung von sehr grosser Tragweite ausüben. Es geschieht dies überall, wo durch die transportierende Kraft von Wasser oder Luft feste Massen zwischen Pflanzen abgelagert und durch diese vor weiterer Fortführung bewahrt werden.

An Meeresküsten fällt den Mangrove-Gebüschen diese Aufgabe zu. Die von den horizontalen Aesten niedersteigenden Wurzeln bilden einen Wald von kleinen Stämmen in dem von der Ebbe trockengelegten und von der Flut bedeckten Bereiche. Das strömende Wasser wird gehemmt und lässt die schwebenden Teile sinken; der Boden erhöht sich bis über das Flutniveau. Die Mangrove-Pflanzen sterben ab. Inzwischen haben sie ihren Bereich seewärts erweitert. Wo Strömungen die in das Meer

geführten Sedimente grosser Flüsse der Küste entlangführen, wie z. B. die Guyana-Strömung diejenigen des Amazonas und anderer Flüsse entlang der Küste von Guyana, befördert die Mangrove-Vegetation das Vorrücken der Küste durch das Festhalten und die Verfestigung der Sedimente in nicht geringem Grade (s. § 143,7). Aehnliches lässt sich wahrscheinlich häufig beobachten.

Die ausgedehnten Deltas oder die von Schlamminseln unterbrochenen seichten Aestuare grosser Ströme sind oft in den Tropen mit waldigem Djungle, in kälteren Gegenden mit Schilfwuchs bedeckt. Bei Ueberschwemmungen wird der Boden durch Absatz von Schlamm und Sand erhöht. Da nun in grossen Deltas das Hinabsinken des Bodens eine häufige Erscheinung ist (s. § 87), so können die Absätze dieser Bewegung das Gleichgewicht halten, sodass die Deltavegetation immer in ähnlichen Verhältnissen bleibt.

Ein ähnliches Wachsen des Bodens mittelst Zuführung fester Massen durch Wasser findet allenthalben in Schilfsümpfen statt, besonders an den Ufern der Flachseen in Centralgebieten, wo das Schilf grosse Strecken bedeckt, und dann in den Ueberschwemmungsgebieten der Flüsse überhaupt.

In allen diesen Fällen sollte der Charakter des Bodens, wo sich durch Brunnengrabungen oder sonstige natürliche und künstliche Einschnitte Gelegenheit dazu bietet, untersucht werden. Bestand und Struktur desselben, sowie die Tiefe, bis zu welcher der durch Hülfe der Vegetation gewachsene Boden hinabreicht, sind von Interesse. Da die Vegetation sich immer auf der äussersten Oberfläche hält, und diese im Laufe der Zeit aufwärts gerückt ist, muss ebenso das Niveau der tiefsten Wurzeln aufwärts vorgeschritten sein. Der Boden muss daher in seiner ganzen Mächtigkeit von Wurzelkanälen durchzogen und beinahe ungeschichtet sein, mithin eine lössähnliche Struktur besitzen. Es wird aber wegen der Verschiedenheit der transportierenden Kraft doch ein Unterschied von der des Löss bestehen: insbesondere werden immerhin Spuren von Schichtung vorhanden sein, und hin und wieder wird sich eine stärkere Anschwemmung an einer Zwischenschicht gröberer Sedimente erkennen lassen. Die Ablagerungen im Delta des Ganges bewahren die angegebene Struktur bis zur Tiefe von mehreren hundert Fuss. Es fehlt an Material zu umfassenden vergleichenden Betrachtungen.

Wenn nicht Wasser, sondern die bewegte Luft das zuführende Medium ist, bildet sich äolischer Boden, welcher

unter günstigen Verhältnissen die Eigenschaften des Löss annimmt. Der Vorgang ist in § 196 ausführlicher behandelt. Lehrreich und praktisch wichtig würde der Einfluss sein, welchen die Vegetation auf Dünen ausgeübt hat. Sie nimmt ihnen zuerst ihre Beweglichkeit und veranlasst die Ablagerung einer Decke fruchtbaren Bodens.

§ 34. Periodische Aenderung der Vegetationsformationen. — Derselbe Erdraum trägt nicht beständig dieselbe Vegetation. Wir sehen hier ab von der Wanderung der Arten, die sich der unmittelbaren Beobachtung entzieht und erst durch vergleichende Studien erschlossen werden kann, und beschäftigen uns nur mit der Aenderung des allgemeinen Typus der Vegetation, wovon als Beispiel angeführt werden mag, dass die Tundren der arktischen Gebiete von Europa und Asien weit jenseits der jetzigen Baumgrenze durch die Existenz vermoderter Wurzelstöcke von Bäumen ihre ehemalige Bewaldung bekunden. Es sind drei, in eigener, inniger Wechselwirkung stehende Faktoren, welche (abgesehen von Aenderungen des Reliefs) eine vollkommene Aenderung der Pflanzenbekleidung herbeiführen können: das Klima, der Boden und die menschliche Ansiedlung. Die ersten beiden können die Wirkung unabhängig von dem dritten Faktore oder in ihrer Korrelation mit diesem vollziehen.

Der Nachweis solcher Aenderungen wird sich am sichersten für die jüngsten Zeiten ausführen lassen, soweit historische Berichte oder Ueberlieferungen vorliegen, oder die Reste menschlicher Industrie die ehemalige Besiedlung jetzt unbewohnbarer Gegenden darthun. Daher sind alle darauf hinzielenden Daten sorgfältig zu sammeln. Sie lassen sich ferner aus den Ueberresten gewinnen, welche von früherer Vegetation jetzt noch vorhanden sind. Wie die Baumreste in den Tundren, so wird ein Torfmoor in einer jetzt waldlosen, vielleicht in Steppe umgewandelten Gegend die frühere Bewaldung bekunden. Durch das Sammeln der Reste von Hölzern und Blättern können einige Vertreter der verschwundenen Flora direkt wieder gewonnen werden. Tierreste können Aufschluss darüber geben, welche Lebensbedingungen (z. B. Wald oder Steppe) einst vorhanden gewesen sind.

Andere Indicien lassen sich aus der Beschaffenheit der nacheinander abgelagerten Bodenarten gewinnen. Gletscherschutt wird auf ein kaltes Klima mit arktischer Vegetation hindeuten, grosse Schottermassen auf mächtig strömendes, von Regenreichtum oder schmelzendem Eise herstammendes Wasser,

Lössboden auf ein Steppenklima (§ 215), Laterit auf ein feuchtes tropisches Klima mit Waldreichtum. In diesen Fragen, welche in § 211 weiter ausgeführt sind, wird exakte Beobachtung geringfügiger Umstände Gelegenheit zu weittragenden Schlussfolgerungen gewähren.

Diejenigen Anhaltspunkte, welche sich aus dem Studium der Spezies im Tier- und Pflanzenreiche gewinnen lassen, und welche z. B. von Wallace („Die geographische Verbreitung der Tiere", und „Island Life", London 1880) in geistvoller Weise verwertet worden sind, müssen dem Botaniker und Zoologen von Fach überlassen bleiben. Der Reisende kann für ihre Anwendung nur durch fleissiges Sammeln jetzt lebender Arten, sowie von Resten in jugendlichen Ablagerungen beitragen.

Es wird sich in späteren Abschnitten dieses Buches häufig Gelegenheit bieten, auf Gegenstände aus diesem anziehenden Bereiche der Beobachtungen zurückzukommen, besonders was die Einwirkung des Menschen auf das Klima, die Vegetation und den Bodencharakter betrifft (s. u. a. § 220).

§ 35. Beziehungen zwischen Tierwelt und Boden. — Wenn wir hier von der Tierwelt des Meeres absehen, so erscheint der Einfluss der Tiere auf grössere Gestaltungen und Veränderungen des Bodens gering. Eine weitgreifende Bedeutung hat Darwin für die Regenwürmer nachgewiesen, durch deren Körper die erdigen Bestandteile der Kulturschicht feuchter Länder hindurchgehen und in einer für die Vegetation günstigen Weise umgestaltet werden. Das Studium seines Werkes über den Gegenstand ist zum Anhalte für weitere Beobachtungen in verschiedenen Ländern zu empfehlen. Welche Aenderungen Boden und Vegetation erleiden, wenn die Regenwürmer vernichtet werden, sollte man dort beobachten können, wo die Grasflächen periodisch verbrannt werden, insbesondere wenn an ein solches Gebiet, vielleicht durch einen Fluss getrennt, ein anderes grenzt, auf welches diese Sitte nicht angewandt wird. Insektenfrass kann herrschende Vegetationstypen vernichten und damit die Bedingungen der Insolation, der Feuchtigkeit und der Bodenbildung ändern. Das Ausschliessen der Wiederkäuer durch die Tsetse-Fliege in einem grossen Teile von Afrika muss einen ähnlichen komplizierten Einfluss auf derartige Zustände zur Folge haben. Und so dürften sich noch manche Einzelfälle von Beziehungen finden lassen.

Zweite Abteilung.

Beobachtungen über äusserlich umgestaltende Vorgänge.

Zwei grosse Gruppen von Kräften wirken gegeneinander und miteinander in der Gestaltung der Erdoberfläche. Die Kraftäusserungen der einen Gruppe werden durch Vorgänge im Erdinnern hervorgerufen. Sie bestehen teils in dem Emporquellen von feurig flüssigem und der Aufschüttung von festem, aus den Erdtiefen stammendem Materiale, teils in Verschiebungen innerhalb der Erdrinde, und sind darauf gerichtet, Ungleichheiten in den grösseren Zügen der Bodenplastik hervorzurufen. Wir werden sie in der dritten Abteilung betrachten. Die Kräfte der zweiten Gruppe haben ihren Urgrund ausserhalb der Erde und äussern sich in den direkten Wirkungen der Wärme und in der mechanischen Arbeit des bewegten Wassers und der bewegten Luft. Sie sind bestrebt, die Ungleichheiten in der Plastik zu nivellieren, die Erhöhungen abzutragen und die Vertiefungen auszufüllen. Auf dem Wege zu diesem Ziele aber vermehren sie in erster Linie die Unebenheiten, indem sie jenes durch das Einreissen von Rinnen vorbereiten. Daher schaffen sie, mit den Kräften der ersten Gruppe vereint, den Formenreichtum der Erdoberfläche. Niemals erreichen sie das Endziel der Nivellierung, indem jene ihr stetig oder periodisch entgegenarbeiten. § 36.

Abgesehen von der Bewegung, welche die kosmische Anziehung der Himmelskörper in der flüssigen Hülle des Planeten verursacht, haben die von aussen wirkenden Kräfte ihren Urgrund in den Aetherschwingungen der Sonnenstrahlen, welche durch Umsetzung in Molekülschwingungen von verhältnismässig grosser Amplitüde die Erwärmung des Erdbodens, des Wassers und der Atmosphäre hervorbringen. Durch die örtliche Ungleichheit dieses Effektes entstehen Luftströmungen, welche die Wärme nach anderen Regionen verbreiten, das Meer in Bewegung setzen und die von der Atmosphäre aufgenommenen Wasserdämpfe emporheben und forttragen, bis sie als Wasser oder Eis niedergeschlagen werden. Die gewaltigen dynamischen Wirkungen, welche die bewegte Luft, die Meeresströmungen, das fliessende Wasser der Festländer und das langsam fortschreitende Gletscher-

eis ausüben, gehen somit aus der Umsetzung der Kraft der Wärmestrahlen der Sonne und aus der Anziehung des Erdkörpers, d. h. der Schwere, hervor.

Mit dem Niederschlage der kondensierten Dämpfe beginnt der für die äussere Umgestaltung des Festen wichtige Teil im Kreislaufe des Wassers. Letzteres tritt nun in verschiedene Funktionen ein. Ein Teil verdunstet. Ein anderer Teil dringt in den Boden und kann schon im Anfange seines Weges durch Gefrieren eine bedeutende mechanische Wirkung ausüben; die allgemeineren Funktionen dieses zweiten Teiles spalten sich in: 1) Zersetzungsvorgänge, welche unter Mitwirkung anderer, aus der Atmosphäre, der Vegetation und dem Boden selbst entnommener Bestandteile geschehen; — 2) unterirdisches Fortströmen und Wiedererscheinen in Gestalt von Quellen; auf dem Wege wird teils eine mechanische Arbeit der Erosion, teils eine chemische der Zersetzung und Auflösung vollbracht; — 3) unterirdisches Eindringen nach den Erdtiefen. Ein dritter Teil des niedergefallenen Wassers fliesst auf der Erdoberfläche fort, sammelt sich in Strömen und übt hauptsächlich mechanische Wirkungen der Erosion, des Transportes von festem Materiale und der Ablagerung desselben aus. Derjenige Teil des Wassers endlich, welcher in Gestalt von Schnee und Eis niederfällt, nimmt entweder nach geschehener Schmelzung sofort an den erwähnten Vorgängen teil, oder er hat, wenn die Temperatur dauernd zu niedrig für die Schmelzung ist, erst ein Zwischenstadium zu durchlaufen, indem er sich ansammelt, zu Eis verdichtet und in Gestalt von Gletschern nach wärmeren Abschmelzungsregionen oder nach dem Meere langsam hinabströmt.

Die verschiedenen Modifikationen der mechanischen Arbeit, in welche die von der Sonne empfangene Wärme umgesetzt wird, behandeln wir nicht, wie es in einem Lehrbuche geschehen würde, in systematischer Reihenfolge. Es erscheint zweckmässiger, an die Beobachtungsobjekte anzuknüpfen, welche sich dem Reisenden einzeln darbieten können. Gestein und Erdboden, Quellen, fliessende und stehende Gewässer, die Gletscher der Gebirge und der Polarregionen, die Meeresküste, das offene Meer, die vom Winde gefegten Kontinentalgebiete — dies sind die Schauplätze, auf welchen er die Natur bei der Arbeit in ihrer Werkstätte belauschen kann. Jeder, welcher seinen Blick übt, vermag von ihnen verwertbares Material heimzubringen.

Viertes Kapitel.

Beobachtungen über Veränderungen an Fels und Erdboden.

Wenn auch die festen Gesteine das Wesentliche im Aufbau der Kontinente sind, so bieten sie sich doch nur ausnahmsweise unmittelbar der Beobachtung dar. In ihrem weit überwiegenden Teile besteht die Erdoberfläche, stofflich betrachtet, aus lockerem Materiale, dem Erdboden, wenn er auch oft den Fels nur in einer äusserst dünnen Schicht bedeckt. In ihm wurzeln die Pflanzen, auf ihm leben Tier und Mensch. Er bietet sich der Beobachtung unmittelbar dar und ist ein sehr wichtiges, gewöhnlich viel zu wenig berücksichtigtes Objekt derselben, weil er einen wesentlichen Teil der Lebens- und Existenzbedingungen giebt. § 37.

Der lockere Erdboden ist aus festem Gesteine entstanden. Wo uns dieses entgegentritt, ist es selten im frischen Zustande. Fast immer sehen wir es an der Oberfläche angewittert, oft bis in grosse Tiefen zersetzt. Wir werden es an dieser Stelle nicht für sich betrachten, sondern die Veränderungen, welche Fels und Erdboden erleiden, nach den Agentien erörtern, durch welche sie hervorgebracht werden. Die einzelnen Arten von Erdboden und Gestein sind im zwölften und dreizehnten Kapitel behandelt.

1. Unmittelbare Einwirkung der Sonnenbestrahlung.

Ein gleiches Mass von Insolation (von deren Messung in § 22 die Rede war) erwärmt verschiedene Gesteine und Erdarten in verschiedenem Grade. Untersuchungen darüber sind zunächst § 38.

deshalb wichtig, weil die Erwärmung der Luft zum Teile davon abhängt, und der Einfluss auf den Charakter der Vegetation und auf die Dauer der Bedeckung durch Schnee bedeutend sein kann; dann aber auch wegen der mechanischen Wirkungen, welche die Erhitzung selbst auf die Gesteine ausübt.

Die Erwärmungsfähigkeit des Bodens ist abhängig 1) von der spezifischen Wärme der Bodenart, d. h. von dem Masse von Wärmezufuhr, dessen eine Gewichtseinheit der Bodenart bedarf, um um eine bestimmte Anzahl von Temperaturgraden erwärmt zu werden; 2) von der Farbe; 3) von dem Verbrauche von Wärme durch Leistung von Arbeit im Boden; 4) von der Wärmeleitung. Im allgemeinen steht in geradem Verhältnisse zu ihr das Wärmeausstrahlungsvermögen, d. h. in demselben Grade, als ein Boden die ihm dargebotene Wärme aufnimmt, strahlt er dieselbe zurück, wenn ihm die Wärmequelle entzogen wird.

Am auffallendsten ist der Einfluss der Farbe. Dunkle Gesteine und Erden erwärmen sich stärker als helle: Humus, dunkle vulkanische Tuffe und Basalt stärker als Sand, Granitgruss und Kalkstein. Die Früchte reifen auf ersteren schneller als auf letzteren. Die Messungen hierüber sind ebenso sparsam wie die Fälle der praktischen Anwendung. Der Reisende hat Gelegenheit, extreme Fälle zu beobachten und den Effekt zu prüfen. Die sommerliche Schneefreiheit der hochgelegenen Gebirgsflächen Armeniens wird der dunklen Farbe der Tuffe zugeschrieben, ebenso wie die schnelle Entwicklung der Vegetation nach Entfernung der Schneedecke. Im Winter verhindert diese die starke Abkühlung. Dagegen sind auf den Basaltplatten in Oregon die Kontraste der Erhitzung und Erkältung ausserordentlich gross. Es wäre zu untersuchen, ob dunkle vulkanische Tuffe im allgemeinen ein Hinaufrücken der Schneegrenze verursachen, sowie ein Hinaufsteigen von Pflanzen, welche auf heller gefärbtem Boden ihre obere Grenze in geringerer Meereshöhe erreichen.

Noch wichtiger ist der Einfluss der spezifischen Wärme. Dieselbe beträgt bei den Bodenarten im allgemeinen 0,20 bis 0,25, wenn diejenige des Wassers = 1 gesetzt wird; d. h. um eine Gewichtseinheit trockenen Bodens von einer gegebenen Temperatur um eine bestimmte Zahl von Thermometergraden zu erwärmen, ist nur $^1/_4$ bis $^1/_5$ derjenigen Wärme erforderlich, welche die Temperatur derselben Gewichtseinheit

Wasser um denselben Betrag erhöhen würde. Nasser, dunkler Boden erwärmt sich daher in der Sonne nicht so rasch als trockener, heller, obgleich er grössere Wärmemengen absorbiert. Es kommt dazu der Wärmeverbrauch durch Arbeitsleistung, wesentlich zur Verdunstung des Wassers: die hierzu erforderliche Wärme wird dem Boden entzogen; dies kann in solchem Masse geschehen, dass die Temperatur eines sehr wasserhaltigen Bodens um mehrere Grade niedriger wird als die der umgebenden Luft.

Untersuchungen über diese Einflüsse lassen sich teils direkt durch Messung der Temperatur verschiedener unter gleichen Insolationsbedingungen stehender Bodenarten ausführen, teils dadurch, dass man trockenen und feuchten Boden derselben Art auf eine bestimmte Temperatur erwärmt und dann die Zeit beobachtet, welche der eine oder der andere braucht, um sich bis auf einen gewissen Temperaturgrad abzukühlen. Dies dürfte für die Erkenntnis mancher örtlicher klimatischer Eigentümlichkeiten wichtig sein. Während lockerer Wüstensand sich schnell erhitzt und abkühlt, werden benachbarte Berieselungsoasen oder feuchte Gründe sich ganz anders verhalten. Zu empfehlen ist die Untersuchung, ob starker Salzgehalt im Boden mit leichtem Schneefalle Kältemischungen erzeugt.

Der in § 30 angedeutete Einfluss der Vegetationsbedeckung auf die Erwärmung wäre beispielsweise von Interesse bei den für Bodenbildung wichtigen Vegetationsformationen der Steppen, der Tundren, der Moore u. s. w. Es könnten die Messungen von Becquerel ausgedehnt werden, welcher bei einer von 0^0 bis -12^0 C. schwankenden Lufttemperatur in der Tiefe von 0,50 m die Temperatur des Bodens unter einer Rasendecke nicht unter 0^0, unter kahlem Boden hingegen bis -5^0 C. fand. Man hat zu diesem Zwecke einige Thermometer mit Angabe von Maximum und Minimum an verschiedenartigen Stellen für einige Tage einzugraben.

§ 39. Eine andere Wirkung der Insolation und Ausstrahlung besteht in der Ausdehnung und Zusammenziehung der Gesteine. Je geringer die Wärmekapazität der Bestandteile, also je schneller und stärker sie die Wärme der Sonnenstrahlen aufnehmen, desto mehr werden sie sich bei gleicher Bestrahlungsintensität ausdehnen. Da sie aber andererseits die Wärme am schnellsten durch Ausstrahlung verlieren, so ziehen sie sich auch um so rascher zusammen. Bei demselben Gesteine wird

die beiderseitige Wirkung durch dunklere Färbung und rauhe Oberfläche vermehrt. Durch oftmalige Wiederholung des Wechsels wird der Zusammenhalt der Teile gelockert; es bilden sich Risse und Sprünge, und das Gestein zerfällt. Man hat diese Erscheinung als Desquamation (Abschuppung) bezeichnet. Sie sollte in Hochgebirgsregionen, wo Insolation und Ausstrahlung sehr intensiv sind, und in den Kontinentalgebieten der gemässigten Zone, insbesondere in Centralasien und im Great Basin, am verbreitetsten vorkommen.

Beobachtungen hierüber liegen besonders aus Steinwüsten heisser Zonen vor. Fraas sah auf dem Kalkplateau östlich vom Nil durch die Wirkung der Sonne am Morgen von einem Feuerstein eine halbzöllige, kreisrunde Schale abspringen und hörte einen Ton dabei. Feuersteine mit glatt abgesprungenen Schalen sind dort vielfach vorhanden. Livingstone hörte am Nyassasee in der Nacht das Zerspringen der am Tage erhitzten Steine. Wetzstein sah und hörte das Zerspringen der erhitzten Basalte bei der Abkühlung in früher Morgenstunde, östlich von Damaskus. Zittel schreibt dieser mechanischen Wirkung, welche infolge der Insolation eintritt, die Bildung der als Hammada bekannten Form der Wüste zu. Es ist zu beobachten, ob diese Erscheinung mehr bei Nacht oder nach erneutem Beginne der Insolation eintritt; bei welchen Gesteinen sie besonders bemerkbar ist; welcher Art bei einzelnen derselben die Sprungflächen sind; ob nicht bei einigen mehr eine feine Abschuppung, bei anderen ein schaliges Abspringen vorkommt; ob und in welchem Grade der Sand eine Verfeinerung durch denselben Vorgang erfährt und für die Fortführung durch Wind vorbereitet wird. Zusammengesetzte Felsarten, besonders solche, bei denen hellere und dunklere Bestandteile miteinander wechseln, sollten stärker gelockert werden als homogene und gleichfarbige, dunkelgefärbte mehr als helle.

§ 40. Hierher gehören auch Beobachtungen über die Art der Bildung einer harten glänzenden Kruste, meist von schwärzlicher, brauner oder grauer Farbe, mit welcher man nackte Felsen auf der der Sonne ausgesetzten Seite in trockenen Ländern häufig überzogen findet. Es scheint, dass sie durch starke Zurückstrahlung der Wärme das Gestein vor weiterer Abschuppung schützt. Es wäre zu untersuchen, welche Gesteine zu dieser Rindenbildung neigen, und welche Unterschiede dabei in der Art der Erscheinung stattfinden; wie die Rinde zusammengesetzt ist und woher die dunkle Färbung rührt; ob die seltene Befeuchtung des durch-

glühten Gesteins und das sofortige Austrocknen hierbei ursächlich mitwirken; ferner, welche Rolle das Salz spielt; ob die Nähe des Meeres, oder in den Centralgebieten der Kontinente der Gehalt des Staubes an verschiedenen Salzen von Einfluss ist; ob die Exposition der Felsen gegen die Sonne oder gegen die Winde verschiedener Richtungen eine Bedeutung für die Krustenbildung hat. In manchen Fällen dürfte eine Mitwirkung des Blitzschlages nicht ausgeschlossen sein; die Art derselben ist besonders zu untersuchen. — Beispiele der Krustenbildung sind in Mexiko und Arizona häufig. In Aegypten sind Skulpturen aus der ältesten Zeit in Granit und Syenit scharf erhalten; dagegen verwittern Marmor und Nummulitenkalk in kurzer Zeit. Auch bei diesen bildet sich eine dunkle, härtere Rinde, während das Innere weich und mürbe ist. Fraas vermutet, dass das von dem Winde mitgeführte Salz eine wesentliche Rolle bei diesem Verwitterungsprozesse spielt.

2. Mechanische Wirkungen des im Erdboden und in Gesteinsklüften gefrierenden Wassers.

§ 41. Dasjenige Wasser, welches unter hohen Breiten oder in Gebirgshöhen den Erdboden durch mehrere Monate des Jahres oder permanent in gefrorenem Zustande erfüllt, übt wahrscheinlich wenig oder gar keine mechanische Wirkung aus, sondern versetzt die betreffenden Bodenschichten in einen passiven Zustand. Anders ist es, wo ein wechselndes Tauen und Gefrieren eintritt. Wenn das Regenwasser in den Boden eindringt, so erfüllt es alle Räume zwischen den festen Bestandteilen. Ebenso sickert das beim Schmelzen des Schnees freiwerdende Wasser in die Fugen des Gesteins und erfüllt auch die latenten Klüfte. Da sich nun 1 Raumteil Wasser von 0^0 beim Gefrieren zu 1,09 Raumteilen Eis ausdehnt, so treibt die molekuläre Gewalt der Kristallisation die festen Massen auseinander. Je häufiger ein Auftauen und Wiedergefrieren stattfindet, desto mehr summiert sich die Wirkung, welche bei jedesmaligem Gefrieren durch Volumenvergrösserung und bei jedesmaligem Auftauen durch Zusammensinken hervorgebracht wird. Die grösste Arbeit wird dort verrichtet, wo in der Nacht starke Ausstrahlung die Eisbildung befördert, während am Tage die Insolation stark genug ist, um das Eis zum Schmelzen zu bringen, und wo eine stetig erneute Zufuhr von Wasser stattfindet. Diese Umstände vereinigen sich

am meisten in gewissen Zeiten des Jahres auf grossen Bergeshöhen, vorausgesetzt, dass ein heiterer Himmel das Eintreten der Extreme befördert. Bei der Schneeschmelze insbesondere ist unterhalb der jedesmaligen Schneegrenze der Boden von Feuchtigkeit durchtränkt und wird dann durch die tägliche Wiederkehr des genannten doppelten Vorganges mehr und mehr gelockert; Bruchstücke solcher Gesteine, welche, wie die Schiefer und thonigen Sandsteine, das Wasser leicht aufnehmen, zerfallen in wachsendem Masse und werden in kleine Fragmente aufgelöst. Am augenfälligsten äussert sich die Wirkung in der Auflockerung festen, von sichtbaren Klüften nicht durchsetzten Gesteins. Es erscheinen Fugen, die sich zu Spalten erweitern. Scharfkantige Fragmente lösen sich los. Wo sie liegen bleiben oder durch Herabgleiten sich anhäufen, kann der Vorgang in grössere Tiefe nicht fortschreiten, da dort die Temperaturextreme der täglichen Periode nicht hinreichend zur Geltung kommen. Daher ist die Wirkung am stärksten an kahlen, steil geneigten Felsgehängen. Glatte, senkrechte Wände sind hingegen dem Vorgange nicht günstig, weil sich an ihnen kein Wasser sammelt; gänzlich aufgehoben wird er durch eine Decke von Schnee oder Eis. Die allgemeine Zerstörung kann auch indirekt befördert werden, zumal dort, wo die tieferen Teile eines Steilgehänges infolge ihres Gesteinscharakters und ihrer Wasserführung der Bildung des Spaltenfrostes mehr unterliegen als die höheren. Dann schreitet in den ersteren die Zerstörung fort, und die letzteren stürzen nach, sodass klippige Formen entstehen. Durch die mannigfaltige Art der Wirkung werden im Hochgebirge jene wilden Felsgrate und scharfen Bergfirsten geschaffen, welche für die oberen Gletscherregionen der Alpen charakteristisch sind.

Dieses gewaltig zertrümmernde Agens ersetzt die Zerstörung durch Verwitterung dort, wo die chemische Zersetzung wegen der niedrigen Temperatur langsam fortschreitet, und wirkt oft schneller und grossartiger als diese. Die losgelösten Trümmer gelangen in Gebirgen mit starkem Niederschlage entweder auf die Gletscher, welche sie auf ihren Rücken in Gestalt von Seitenmoränen und Mittelmoränen nach den tieferen Teilen der Thäler tragen; oder sie häufen sich an und werden nach und nach von den strömenden Gewässern fortgeführt.

Der Vorgang ist im allgemeinen bekannt, aber hinsichtlich seiner Wirkungsweise bei verschiedenen Gesteinen wenig unter-

sucht; auch fehlen ziffernmässige Untersuchungen über das Mass der Zerstörung. Wenn man auch den Spaltenfrost als das stärkste Agens, welches die höchsten und schroffsten Alpengebirge in ihren obersten Teilen abträgt, zu betrachten gewohnt ist, so fehlt doch jeglicher Anhalt zur Schätzung des Betrages, um welchen die Erniedrigung in einzelnen Gebirgsregionen stattfindet. Von Interesse wäre die Beobachtung in solchen Gegenden, wo wegen zu geringen Niederschlages keine Gletscher gebildet werden und Wildbäche fehlen. Dort sollte der Schutt sich so lange anhäufen, bis er die Felsmassen, von denen er stammt, in eine schützende Decke einhüllt und ein weiteres Fortschreiten des Vorganges nicht gestattet. Hier würden auch Untersuchungen über die Neigungswinkel von Schutthalden je nach dem Gesteine, aus welchem sie bestehen, anzustellen sein.

Hierher gehören auch Untersuchungen über den Haarfrost, jene feinen krystallinischen Eissäulen, welche sich besonders bei stark ausstrahlendem Boden unter der Oberflächenschicht bilden und diese emporheben. Nicht nur die Teilchen von feinem Grusse, auch grössere Gesteinsfragmente erhalten in kalten Nächten diese Unterlage. Schmilzt diese, so gelangen sie, falls der Boden geneigt ist, in ein etwas tieferes Niveau, und so werden sie weiter und weiter den Abhang hinabgetragen, während von oben her neue Oberflächenteile die gleiche Wanderung antreten. In solchen Gegenden, wo, wie in Tibet, die Regengüsse meist nicht stark genug sind, um den Schutt fortzuräumen, muss dieses Agens eine Bedeutung für die Umlagerung und die Oberflächengestaltung der Schutthalden haben. Anderwärts wird seine Wichtigkeit in der Auflockerung des Bodens und seiner Aufbereitung für die Bedürfnisse der Vegetation bestehen.

3. Verwitterung.

§ 42. Auch wo Felsgestein ohne fremdartige Bodenbedeckung ansteht, zeigt es selten seine natürliche Beschaffenheit an der Oberfläche. Ist durch einen Steinbruch, den Stollen eines Bergbaues oder den Tunnel einer Eisenbahn das Innere blossgelegt, so erkennt man in der Regel eine äussere Lage von grösserer oder geringerer Dicke, welche sich durch andere Färbung und Textur von dem frischen Gesteine unterscheidet und offenbar durch Umänderung daraus entstanden ist. Ist

das Gestein von Klüften durchsetzt, so ist es zu beiden Seiten einer jeden derselben in ähnlicher Weise wie an der Oberfläche verändert. Dasselbe Verhalten, wie es an grossen Felsmassen wahrzunehmen ist, lässt sich an den meisten Geröllblöcken erkennen, welche durch längere Zeit im Boden oder an der Oberfläche gelegen haben, oder an den ehemals frisch gewesenen Bruchsteinen in altem Gemäuer.

Der Vorgang derjenigen innern Umwandlung, deren verschiedene Erscheinungsformen man als „Verwitterung" zusammenfasst, ist also überall dort eingetreten, wo atmosphärische Agentien durch längere Zeit Zugang gehabt haben. Die wichtigste Rolle spielt das Wasser, teils unmittelbar durch seine Lösungsfähigkeit, teils mittelbar als Träger der die chemische Zersetzung am kräftigsten ausführenden Stoffe, unter denen Kohlensäure, verschiedene Humussäuren, Ammoniak und salpetersaure Salze die hervorragendsten sind. Diese Substanzen werden teils der Atmosphäre entnommen, teils (und die Humussäuren ausschliesslich) durch die vegetativen Vorgänge geliefert. Daher sind diese ein die Zersetzung in hohem Grade begünstigender Faktor. In manchen Fällen leiten sie allein dieselbe ein. Werden durch feuchte Luftströme die kaum sichtbaren Sporen von Schurfflechten an Felswände getrieben und von deren kleinsten Unebenheiten festgehalten (s. § 31), so klammern sich die mit Hülfe der Feuchtigkeit entwickelten kleinen Pflänzchen fest und arbeiten mittelst der von ihnen selbst erzeugten Kohlensäure an der Zersetzung des Gesteins. Nackte Felsflächen, besonders diejenigen von Kalkstein, sind in diesem ersten Stadium pflanzlicher Ansiedlung oft wie von feinem Staube bedeckt. Die Oberfläche wird rissig, mürbe und rauh, dadurch zugänglicher für die Atmosphärilien und für die Einwirkung wechselnder Temperaturen; sie erlangt die Fähigkeit, Gase zu absorbieren und Regenwasser zurückzuhalten. Anspruchsvollere Pflanzen vermögen sich anzusiedeln. Ihre vegetativen Funktionen sind mächtiger als die der ersten Flechtenkolonie; sie treiben ihre Wurzeln in etwas grössere Tiefe, bringen die Kohlensäure in diese hinab und locken zugleich tierische Wesen an, deren Lebensfunktionen und schliessliche Verwesung zur Steigerung des Zerstörungswerkes beitragen. Durch die wachsende Ausdehnung und Intensität des Vorganges siedelt sich allmählich ein Pflanzengarten an. Den Krautgewächsen folgen Sträucher und Bäume, welche mit ihren Wurzeln

in die Fugen des Gesteins dringen und dessen Teile unwiderstehlich auseinandertreiben, sodass nun die Zersetzungsprozesse in weit erhöhter Kraft zu grösserer Tiefe hinabreichen können.

Die Umänderungen, welche die Gesteine hierdurch erleiden, sind teils chemisch, teils mechanisch. Einige unter den chemischen Vorgängen sind sehr einfach. Aber in ihrer Gesamtheit bilden sie eine lange, ausserordentlich verwickelte Reihe von Erscheinungen, indem die zuerst entstandenen Salze ihre Bestandteile mit den chemischen Verbindungen verschiedener Mineralien austauschen und dadurch selbst wieder zersetzend wirken; ähnlich kann die Rolle der auf zweiter Stufe entstandenen Salze sein, und so kann eine Kette verschiedener Associationen und Dissociationen den Endzustand herbeiführen, dass nämlich die im Wasser löslichen Salze ausgelaugt werden, während diejenigen Substanzen zurückbleiben, welche die doppelte Eigenschaft besitzen, am schwersten löslich zu sein und zugleich der Ueberführung in neue Verbindungen mit den sich ihnen darbietenden Säuren und Basen den grössten Widerstand zu leisten.*)

Die mechanische Umwandlung besteht, solange die schwer löslichen Zerstörungsprodukte an ihrer Stelle bleiben, im allgemeinen in einer Auflockerung des Gefüges und in einer Verminderung des Volumens, welche sich bei vollkommen löslichen und zugleich von Beimengungen reinen Gesteinen zu einer gänzlichen Fortführung steigern kann. Nur ausnahmsweise hat der Fortgang der Verwitterung eine wiedereintretende Verfestigung oder eine Zunahme des Volumens zur Folge.

Ein wesentlicher Faktor, der nicht nur für den Grad, sondern auch für den Gang der Zersetzung von hohem Einflusse ist, ist die Wärme. Sie wirkt teils direkt, indem die Wirkung

*) Die Darstellung der chemischen Vorgänge im einzelnen würde hier, auch bei Beschränkung auf das Wesentlichste, zu weit führen. Auch können sie nur ausnahmsweise einen Gegenstand eingehender Untersuchung auf Reisen bilden. Am ausführlichsten sind sie von Gustav Bischoff, dem eigentlichen Begründer dieses Forschungszweiges, in seinem grundlegenden Werke: Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie (2. Aufl. Bonn 1863—1866), behandelt worden. Für die Orientierung zur Beobachtung auf Reisen ist das treffliche, dem praktischen Gesichtspunkte Rechnung tragende kleine Werk:

Fels und Erdboden, Lehre von der Entstehung und Natur des Erdbodens, von Ferdinand Senft. München 1876,

oder der kurz zusammenfassende Abschnitt in Credners „Elemente der Geologie“ zu empfehlen.

der gleichen Agentien bei erhöhter Temperatur in ausserordentlichem Masse zunimmt, teils indirekt, indem sie eine der Bedingungen für den grössern oder geringern Reichtum des pflanzlichen Lebens ist. Ausserdem wirken Wechsel der Temperatur um den Gefrierpunkt nach der in § 41 dargestellten Weise lockernd auf die Zersetzungsrinde. Die Verwitterung wird in der That in hohem Grade zu einem klimatischen Phänomen. In feuchten und heissen Regionen vollzieht sie sich leicht und schnell; in heissen und trockenen Gegenden scheint sie eine geringe Rolle zu spielen; und wo hohe Kältegrade herrschen, vermag selbst ein Ueberfluss an Wasser sie nur in unbedeutendem Masse hervorzubringen. Unter den stets mit Feuchtigkeit beladenen Moospolstern in Finland oder im nördlichsten Ural bietet der Granit unzersetzte Flächen. Es liegen nur Beobachtungen allgemeinster Art über diesen Einfluss des Klimas vor.

Die Verwitterung des Gesteins gehört zu den wichtigsten Vorgängen in der Natur. Oede Flächen werden dadurch zu einem Wohnsitze für Pflanzen und Tiere umgewandelt, und es wird das Material vorbereitet, durch dessen Umlagerung vermittelst der Atmosphäre (s. § 196) und des Wassers (s. §§ 83—87) die Länderflächen der Nomaden und die blühendsten Stätten der Kultur geschaffen werden. Auf demselben Wege wurden zum Teile die Trümmermassen gebildet, aus welchen die klastischen Gesteine aufgebaut sind, während wir einen Teil der in Lösung fortgeführten Substanzen in den durch Vermittlung der tierischen und pflanzlichen Thätigkeit im Meere entstandenen Kalksteinen wiederfinden. Das Gebiet der Zersetzungserscheinungen der Gesteine gehört zu denen, welche in grossartigster Weise die kausalen Wechselbeziehungen der verschiedenen Erscheinungen in der Natur zur Anschauung bringen.

Die Beobachtungen, welche der Reisende über Verwitterungserscheinungen anzustellen vermag, lassen sich, abgesehen von den grundlegenden Untersuchungen über die chemische Natur der Vorgänge, die in befriedigender Weise nur im Laboratorium ausgeführt werden können, unter verschiedenen Gesichtspunkten zusammenfassen.

Wir betrachten: a. das Verhalten verschiedener Gesteine, wenn sie den gleichen Vorgängen ausgesetzt sind; — b. das Verhalten desselben Gesteins, wenn die Agentien wechseln; also wesentlich unter verschiedenen Breiten und unter verschiedenen

klimatischen Bedingungen überhaupt: — c. das Verhalten der Gesteine unter Umständen, welche eine kumulierende Zersetzung ermöglichen.

a. Angreifbarkeit verschiedener Gesteine durch gleichartige äussere Einflüsse.

Die Gesteine werden durch Wasser, welches mit ver- § 43.
schiedenen Substanzen beladen sein kann, zum Teile gelöst, zum Teile in ihrem chemischen Bestande verändert. Der Lösung unterliegen am leichtesten Steinsalz und Gips, nebst einigen minder wichtigen Gesteinsarten; dann zunächst die kohlensauren Salze, unter denen der kohlensaure Kalk weitaus die grösste und wichtigste Verbreitung hat und teils grosse Gesteinsmassen mit geringer fremdartiger Beimengung zusammensetzt, teils einen an Menge sehr schwankenden Bestandteil anderer Gesteine bildet.

Einer Veränderung durch Zersetzung unterliegen die an dem Bau der äusseren Erdrinde am meisten beteiligten Silicatgesteine. Der Grad, in welchem sie statthaben kann, hängt in erster Linie von dem Einflusse ab, welchen kohlensäurehaltiges Wasser auf die Gesteine ausübt, und von dem Grade des Zutrittes, welchen sie demselben gestatten. In letzterer Beziehung zeigt es sich, dass grobkörnige Gesteine leichter verwittern als feinkörnige oder dichte von derselben Art, und dass Zerklüftung und Schieferung ebenfalls fördernd auf den Vorgang wirken. Dies ist unabhängig von der Zusammensetzung, welche ihrerseits die Art der Einwirkung des mit zersetzenden Bestandteilen beladenen Wassers wesentlich bestimmt. Im allgemeinen werden alle Mineralien, welche kieselsaure Kalkerde enthalten, leichter zersetzt als diejenigen, welche kieselsaure Alkalien enthalten.

Einen beinahe vollkommenen Widerstand gegen die Lösung und Zersetzung leisten unter den massenhaft auftretenden Gesteinen und unter den verbreitetsten Mineralien vor allen anderen Quarz und die wasserhaltige kieselsaure Thonerde, welche selbst der letzte Zersetzungsrückstand fast aller Silikate ist. Wir teilen demnach die Gesteine in unzersetzbare, lösliche, und die grosse Klasse der mehr oder weniger zersetzbaren.

1) Unter den im geringsten Masse der Lösung unterworfenen, § 44.
als unzersetzbar zu bezeichnenden Gesteinen und Gesteinsbestandteilen spielt der Quarz die erste Rolle. Gänge von

Quarz in Granit bleiben als „Teufelsmauern“ stehen und durchziehen in scharfer Begrenzung ganze Landschaften. Mechanisch zerstörende Kräfte, wie Sonnenwirkung, Frostwirkung und die sprengende Kraft der Wurzeln der in atmosphärisch herzugewehtem Erdreiche (§ 218) sich ansiedelnden Pflanzen, verwandeln sie zuweilen in ein Trümmerhaufwerk. Eine ähnliche Rolle wie die Quarzmassen spielen in viel grossartigerer Weise reine Quarzite, welche als Gebirge in den schroffsten Formen stehen geblieben sind, wo ringsherum alles Gestein längst bis auf ein tieferes Niveau der Zersetzung unterlegen ist. Unreine Quarzite hingegen zerfallen, ebenso wie Sandsteine, nicht selten an ihrer Oberfläche in ein Haufwerk von Sandkörnern, welche Wüstencharakter annehmen können. Mechanische Zerstörung durch Pflanzenwurzeln und Frost ist dabei allerdings häufig in vorwaltender Weise beteiligt. Sand- und Quarzkiesel verdanken ihre Erhaltung nicht nur ihrer Unlöslichkeit, sondern auch ihrer Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Zerstörung. Die Körner des Quarzsandes können zwar noch abgeschliffen werden, erleiden auch vielleicht zuweilen eine weitere Zersprengung, sind aber, abgesehen von einigen seltenen Mineralien, beinahe die beständigsten alter Gebilde (s. § 195).

So leicht Thone und viele Thongesteine der mechanischen Zerstörung unterliegen, gehören doch auch diese zu den unzersetzbaren Mineralmassen. Wasserhaltiges Thonerdesilikat, woraus sie wesentlich bestehen, ist gegen Kohlensäure und Sauerstoff unempfindlich und im Wasser nicht löslich. Bei reinen Thonschiefern und Schieferthonen, welche in der Hauptsache aus Thon mit Glimmerschüppchen und etwas Quarzstaub zusammengesetzt sind, ist diese Eigenschaft ein wichtiges Moment für die Rolle, welche sie an solchen Stellen, wo die Verwitterung das vorherrschend zerstörende Agens ist, in der Plastik spielen. Es ist derselben bei der Beobachtung der regionalen Zersetzung (§ 47) Rechnung zu tragen. In der Regel enthalten die genannten Gesteine jedoch noch andere Gemengteile, wie Eisenkies und ein wenig Kalk, wodurch sie dann einer immerhin nur geringen Umwandlung unterliegen. Die Unveränderlichkeit der nicht zu festen Gesteinen erhärteten Thone ist ebenfalls ein bedeutsames, für manche Landschaften (z. B. diejenigen des Hochflächen-Laterites, § 206) verhängnisvolles, im allgemeinen aber ausserordentlich nutzbringendes Moment, indem schon eine geringe Ansammlung

derselben zu einem chemisch beinahe unwandelbaren Träger der Vegetation wird (s. § 219).

Zu den am wenigsten veränderlichen, gesteinsbildenden Stoffen ist endlich das Eisenoxyd, wesentlich in seiner krystallinischen Form, dem Eisenglanz, zu rechnen. Dasselbe hat als Färbemittel des Laterites der Tropen, vieler Sandsteine und Schiefer, eine wichtige Funktion.

2. Unter den löslichen Gesteinen steht der Kalkstein § 45.
weitaus an Bedeutung voran. Reiner Kalkstein hat keine Verwitterungsrinde. Aber indem kohlensäurehaltiges Wasser den kohlensauren Kalk löst, werden grosse Anhäufungen desselben vollkommen hinweggeführt, wobei die Wirkung teils von der Oberfläche gegen die Tiefe fortschreitet, teils von den in Kalksteinen häufigen Klüften aus geschieht. Indessen ist das Gestein niemals vollkommen rein, sondern enthält thonige Bestandteile, fast immer mit einer Beimengung von oxydiertem Eisen. Diese bleiben bei der Auflösung als Rückstand übrig. Wo das Wasser abfliesst, werden sie von ihm leicht entfernt. Wo sie nicht entweichen können, werden sie angehäuft und bilden einen eisenhaltigen Thon, dessen sporadische Ansammlungen für den Oberflächencharakter der Kalksteinländer zu einer typischen Erscheinung wird. Die schroffen Formen der Kalksteinfelsen, die Kahlheit der Flächen an solchen Stellen, wo der Wald vernichtet ist, die bleichen, vollkommen nackten Wände, ihr Wechsel mit anderen vertieften Stellen, wo auf dem thonigen Boden eine um so üppigere Vegetation gedeiht — alles dies sind Folgen der Löslichkeit des Kalksteins und der Ausscheidung seiner nicht löslichen Verunreinigungen. Beobachtungen hierüber lassen sich in jedem Kalksteingebirge in grosser Mannigfaltigkeit ausführen. Besonders sollten häufige Berechnungen über den Betrag der stattgehabten Wegführung von Material angestellt werden.

Zu den bekannteren Formen, welche die Oberfläche des Kalksteins durch die Auflösung annimmt, gehören die Karrenfelder oder Schratten, wie sie nach ihrer Bezeichnung bei den Alpenbewohnern genannt worden sind. Sie entstehen dort, wo der Schnee lange liegen bleibt und allmählich thaut, besonders an sanften Gehängen in der Nähe der Schneelinie und auf Gipfelflächen; in den Alpen meist in Höhen von 1900 bis 2600 m. Das abfliessende Wasser gräbt sich durch Lösung des Gesteins Rinnen, die sich vertiefen und am Grunde erweitern. Zwischen ihnen bleiben Riffe stehen, die immer schärfer und

schmäler werden und die in Fig. 4 im Profildurchschnitte dargestellte Form annehmen. Die Rinnen und Löcher sind meist 1—2 m, doch auch 4—10 m tief. Das Wasser fliesst von ihnen aus durch Klüfte ab. Es sollte untersucht werden, ob die Formen der Karren auf verschiedener Lösungsfähigkeit einzelner Teile derselben Gesteinsschicht beruhen. Da viele Kalksteine aus einem Wechsel von grösseren Stöcken kalkabsondernder Tiere und Pflanzen und von Detritusansammlungen (s. § 185) gebildet worden sind, so ist ein Mangel an Homogenität, auch wo er äusserlich nicht erkannt werden kann, wahrscheinlich. — Aehnliche Formen, wie sie in Karrenfeldern ausgebildet sind, zeigen sich auf Abrasionsflächen (§ 161), welche durch Kalkstein geschnitten sind. Auch hier gräbt sich das abfliessende Wasser der Brandungswelle scharf geschnittene Bahnen, die aber geringere Tiefe haben.

Fig. 4.

Fliesst das Wasser durch die Klüfte des Kalksteines ab, so erweitert es diese durch Lösung an gewissen Stellen. Dies ist einer der Faktoren der häufigen Entstehung von Höhlen im Kalksteine und der mit diesen gemeinsam die Karstlandschaft charakterisierenden Dollinen.

Die weggeführte Masse des Kalksteines lässt sich, wenn auch nur ungenau, aus der Masse des Residuums, bei Kenntnis des Prozentgehaltes des Kalksteines an unlöslichen Substanzen, berechnen. In der Bleiregion von Wisconsin fand Whitney eine 30 Fuss mächtige Ablagerung ungeschichteter roter Thone mit Hornstein und Bleiglanz, welche sich als der Rückstand mehrerer hundert Fuss Kalkstein ergab. In den Ozark-Mountains von Missouri fand Pumpelly eine 20 — 120 Fuss mächtige Masse unlöslicher Residualstoffe. Da der Kalkstein 2 — 9 Prozent derselben enthält, so müssen 400 — 2400 Fuss Kalkstein hinweggeführt sein, um diese Masse zurückzulassen. Derartige Schlussfolgerungen und Berechnungen sind zwar dem Geübteren zu überlassen; aber in vielen Gegenden werden oberflächliche Schätzungen genügen, um Gesichtspunkte von Interesse zu ergeben und manches rätselhafte Phänomen der Oberflächengestaltung, darunter vielleicht die Existenz mancher Seebecken, zu erklären.

Weit leichter löslich als Kalkstein, aber wegen ihrer geringern Verbreitung viel weniger wichtig in dieser Beziehung sind Gips und vor allem Steinsalz. Die soliden Massen des letztern sind von wasserundurchlassendem Thone umhüllt. Wo aber durch Gebirgsstörungen diese Hülle zerrissen und dem Wasser Zugang in solcher Weise gegeben wird, dass es hindurchfliesst, muss die Wegführung schnell vor sich gehen und ein Einbrechen der darüber befindlichen Massen veranlassen. Manche Kesselbildungen in Faltungsgebirgen (z. B. in den Salzburger Alpen) dürften darauf zurückzuführen sein. Mit grösserer Bestimmtheit lassen sich in vielen Fällen ähnliche Bildungen durch die Auslaugung der viel verbreiteter auftretenden Gipsmassen erklären.

Unter günstigen Umständen kann man aus der Bestimmung des Gehaltes der einem Gebirge oder Gebirgsteile entströmenden Gewässer an kohlensaurem und schwefelsaurem Kalke berechnen, wie viel von beiden Substanzen jährlich entführt wird.

3) Die grosse Mehrzahl der die Erdoberfläche zusammensetzenden Gesteine unterliegt, wenn sie der Einwirkung der Atmosphärilien, insbesondere des kohlensäurehaltigen Wassers, ausgesetzt sind, einer chemischen Zersetzung. Vor allem sind es die in den Mineralbestand derselben in grosser Menge eintretenden Doppelsilikate, welche zerstört werden, und von diesen sind weitaus die wichtigsten die Feldspat- und Glimmerarten. Am deutlichsten sind die Vorgänge bei den gemengten krystallinischen Silikatgesteinen. Jedes derselben enthält unter seinen Bestandteilen wenigstens zweierlei Silikate, welche der Verwitterung nicht in gleichem Masse unterliegen. Es wird genügen, hier auf die morphologische Bedeutung der Verwitterung in einigen häufig anzutreffenden Fällen hinzuweisen. Der Reisende wird daraus einen Anhalt für andere Fälle entnehmen können. § 46.

Eruptiver Granit zeichnet sich unter allen Gesteinen durch seine Verwitterungsformen aus. In der Regel ist er in grossen, flach konvexen Schalen abgesondert, und indem noch zwei zu der Schalenfläche senkrechte und zueinander rechtwinklige Kluftrichtungen hinzukommen, entsteht eine parallelepipedische Absonderung, wie sie in grossen Granit-Steinbrüchen deutlich zu erkennen ist. Das Wasser dringt in diese Klüfte ein, verwendet in den oberen Teufen seine Kohlensäure zur Zersetzung der feldspatigen und der glimmerigen Gemengteile, und hat daher in grösseren Tiefen keine Kohlensäure übrig,

um auch dort den Prozess einzuleiten. Indem nun jeder parallelepipedische Block von allen Seiten in Angriff genommen wird, bilden sich von aussen nach innen konzentrische Verwitterungsrinden, bei denen die Intensität der Verwitterung von aussen nach innen stufenweise abnimmt, bis zu einem unverwitterten Kerne, welcher häufig noch die Mitte jedes Blockes einnimmt. Da die Blöcke von verschiedener Grösse sind, ist bei manchem die Zersetzung bis zu dem innersten Kerne vorgeschritten, während bei anderen, benachbarten, noch ein grosser unveränderter Teil vorhanden ist. Granite, welche einen Plagioklas als Hauptgemengteil enthalten, verwittern schneller als solche, bei denen Orthoklas vorherrscht; diejenigen mit schwarzem Glimmer unterliegen ihm leichter als diejenigen mit weissem Glimmer; auch ist ihr das gröbere Korn des Gefüges günstig; feinkörnige Granite verwittern langsamer. Wo die Lagerstätten durch Erosion nicht zerstört sind, bleibt das Gefüge des Granits vollkommen erhalten, der Quarz ist unverändert, aber das Gestein ist schneidbar geworden, und jede Schnittfläche zeigt die deutliche Gestalt der Feldspatkrystalle. Wenn ein Stollen in solchem erdigen Gesteine getrieben wird, so lässt er sich leicht ausarbeiten, trifft aber hin und wieder auf einen nicht angegriffenen festen Granitkern, der mit Pulver gesprengt werden muss. Dieser Fall findet sich häufig bei dem kalifornischen Goldbergbau.

Befinden sich solche zersetzte Granitmassen hingegen auf der Höhe eines Gebirges, so entführt das fliessende Wasser die feinkörnigen und mürben Zersetzungsprodukte, und es bleiben die festen Granitblöcke liegen. Die schwächer zersetzte Rinde, welche sie noch umgiebt, da sie für die Fortführung durch Wasser zu grosse Festigkeit bot, wird durch Spaltentrost abgeblättert oder durch Regengüsse nach und nach entfernt und in ein mit gröberen Resten vermischtes Haufwerk zersetzter Trümmermassen, den sogenannten Granitgruss, aufgelöst. Die rundlichen Blöcke sind aufeinandergetürmt und berühren sich manchmal nur an einzelnen Punkten. So kommt es, dass man oft nur Granitgruss und phantastische Haufen übereinandergestürzter, angewitterter und durch Flechtenüberzug grau gefärbter Blöcke sieht.

Für ein geübtes Auge sind solche Formen hinreichend, um sofort den Charakter des eruptiven Granits zu erkennen. Der Sammler muss sich oft mit verwittertem Materiale begnügen; denn

es ist unmöglich, von den Blöcken ein Handstück der allein noch frischen inneren Teile zu gewinnen. In Deutschland sind diese Granitformen auf dem Brocken, im Thüringer Walde, im Riesengebirge und im bayerisch-böhmischen Walde bekannt. Wie im Falle des Brockens, so wird man auch in anderen Ländern häufig religiösen oder abergläubischen Kultus mit Gebirgen von eruptivem Granit verbunden finden. Die heiligen Opferberge des höchsten Altertums in China bestehen aus Granit. Die Höhlen, welche durch die lose aufgehäuften Riesenblöcke gebildet werden und durch das Ausräumen des weichen Granitgruses leicht erweitert werden können, sind von Einsiedlern und Anachoreten aufgesucht worden. In christlichen, ebenso wie in buddhistischen Ländern wurden Klöster an solchen Stellen errichtet.

Jede Vermehrung hierauf bezüglicher Thatsachen ist von Interesse. Besondere Beobachtungen hinsichtlich der Zersetzung des Granits können auf das verschiedene Verhalten verschiedener Abänderungen des Gesteins und auf den Einfluss des Klimas auf den Vorgang gerichtet werden. In sehr trockenen Regionen, wie am Sinai und im nördlichen Afrika, scheinen andere Bergformen aus den Verwitterungsvorgängen zu entstehen. Wo Syenit und Tonalit (z. B. in der kalifornischen Sierra Nevada) in grossen eruptiven Massen auftreten, haben sie häufig die für den Granit charakteristische flachschalig-gewölbte Absonderung und nehmen dann durch Verwitterung Formen an, welche den beschriebenen ganz ähnlich sind.

Gneisgranit und Gneis verhalten sich verschieden vom eruptiven Granite, da sie nicht, gleich diesem, eine von regelmässigen Klüften durchsetzte und im übrigen gleichartige Gesteinsmasse bilden. Werden die Zersetzungsprodukte nicht entfernt, so dringt die Zerstörung in grosse Tiefe vor. Werden jene fortgespült, so bleiben bei steiler Schichtenstellung wilde zackige Grate zurück, welche wahrscheinlich durch den verschiedenen Grad des Vorschreitens der Zersetzung in den auch ihrer Zusammensetzung und Textur nach verschiedenen Teilen einer und derselben Gneismasse verursacht werden. Hierüber, sowie über den etwa vorhandenen Einfluss der Gesteinszerklüftung können Beobachtungen von Interesse sein.

Durch Verwitterung des Gneises entsteht bei gemässigtem Klima als letztes Produkt ein ockergelber, an Glimmerschuppen sehr reicher Thonboden, in welchem eine Menge unzersetzte Gneistrümmer und aus Quarzgängen entstammende Quarzstücke liegen.

Schliessen wir an den Granit die anderen kieselsäurereichen Eruptivgesteine, so sind zunächst die Quarzporphyre wegen ihrer dichten Grundmasse für die Agentien schwer angreifbar; zuerst werden die Feldspatkristalle zersetzt, und zwar, wie es scheint, um so leichter, je grösser sie sind; von ihnen aus wird die Grundmasse angegriffen. Der wesentlichste Unterschied vom Granite aber besteht in der Form und Verteilung der Angriffsflächen. Porphyrgebirge pflegen in ihren einzelnen Teilen verschiedenartig zerklüftet zu sein. Dazu sind sie in der Regel von sehr zahlreichen Gängen durchzogen, und der Charakter des Gesteins wechselt meist beträchtlich. Jede Varietät von Quarzporphyr oder Porphyrit hat einen etwas andern Gang der Verwitterung, je nach Härte, Dichtigkeit des Gefüges und mineralischer Zusammensetzung. Häufig ist die Zerklüftung säulenförmig, und diese Säulen stehen bald senkrecht, bald unter den verschiedensten Winkeln. Dann sind die Angriffsflächen sehr gross, indem das Wasser leicht in die die Säulen trennenden Fugen eindringt und jede Säule mit einer Verwitterungsrinde umgiebt. Sind die Säulen, wie es oft vorkommt, radial angeordnet, so lösen sich die äusseren Teile der Säulenbündel in ungeheure Trümmermassen auf. Dies rührt wahrscheinlich daher, dass die inneren, dünneren Teile der Säulen schneller der gänzlichen Zersetzung unterliegen als die äusseren und daher diese den Halt verlieren. Ausserdem kommt plattenförmige, sehr unregelmässig vertikale und manche andere Form der Absonderung vor. Porphyrgebirge sind daher die regellosesten in der Gestaltung. Zuweilen starren sie in einer Unzahl dünner Nadeln auf, dann wieder findet man breite, domförmige Massen; an Abhängen bilden sich Formen übereinander gelagerter Wollsäcke neben scharfkantigen, festgezeichneten Vorsprüngen.

Bei Rhyolith und Trachyt, wo sie frei aufragen, hängt der Gang der Verwitterung grossenteils von dem Vorhandensein eines zelligen Gefüges oder dem Fehlen desselben ab. In Gegenden, wo die Temperatur unter den Gefrierpunkt sinkt, wirkt das gefrierende Wasser bei frischem Gesteine ähnlich wie bei angewittertem Granite. In dem nordamerikanischen Great Basin, dem grössten Verbreitungsgebiete des Rhyoliths, sind dessen zahnartig aufragende, frische Gesteinsmassen in ihrem unteren Teile in Rhyolithgruss gehüllt, und dieser verfällt dann einer sehr langsamen Verwitterung, deren Endprodukt ein hellfarbiger, mit Quarzkörnern und Kieselmehl gemengter Thon ist.

Die Grösse der Feldspatkristalle scheint auch hier von Einfluss auf die Schnelligkeit der Zetsetzung zu sein. Verglaste, dichte Gesteine widerstehen der Zersetzung sehr hartnäckig, wenn nicht die Angriffsfläche, wie im Bimssteine und manchem Perlsteine, eine ausserordentlich grosse ist.

Die basischen Eruptivgesteine zeigen ebenfalls ein sehr verschiedenes Verhalten. Es giebt unter ihnen scheinbar nahe verwandte Gesteine, von denen das eine immer in scharf markierten, kantigen Formen erscheint und an der Oberfläche mit einer dünnen, bestimmt abgegrenzten, weisslichen oder gelblichen Verwitterungsrinde bedeckt ist, während ein anderes nur in rundlichen Blöcken und rundlichen Formen überhaupt auftritt und neben einer braunen intensiven Verwitterungsrinde eine tief reichende angewitterte Zone durch schwach bräunliche Färbung bei noch unverändertem Gefüge erkennen lässt. Auf derartige Gegenstände, welche von Bedeutung für das Verständnis der Plastik und der Bodenbildung sind, ist die Aufmerksamkeit noch lange nicht hinreichend gerichtet worden. Es empfiehlt sich, beim Sammeln von Gesteinsproben die zu jedem Gesteine gehörige Verwitterungsrinde und die sonstigen, mit Bestimmtheit von ihnen abzuleitenden Zersetzungsprodukte mit zu sammeln. Sind zugleich genaue Beobachtungen über das gegenseitige Verhalten an Ort und Stelle niedergeschrieben, so kann dann das Material unter dem Mikroskop und im Laboratorium mit Nutzen untersucht werden. Nur weniges kann als leitend für die Zersetzungserscheinungen der basischen Eruptivgesteine angenommen werden. Je dichter, homogener und freier von Einschlüssen die Grundmasse ist, desto weniger ist sie für die Zersetzungsvorgänge empfänglich; je mehr sie grössere ausgeschiedene Kristalle enthält, je zerklüfteter, zelliger oder blasiger das Gestein, desto leichter tritt die Veränderung ein. Dies ist aber nicht absolut bestimmend; denn ein anderer entscheidender Umstand ist der Kalkgehalt der an der Zusammensetzung teilnehmenden Mineralien. Manche Diorite verdanken wahrscheinlich dem Zurücktreten desselben ihre geringe Zersetzbarkeit. Wo sie leichter eintritt, zersetzt sich gewöhnlich der Feldspat zuerst, so dass an der äussern Fläche die Hornblende oder der Augit hoch hervortreten und diese Mineralien nebst feinen Körnern von Titaneisen in dem letzten Produkt der Zersetzung zurückbleiben. Dieses ist in der Regel eine rostbraune bis rotbraune thonige Masse.

Die kristallinischen Schiefer unterliegen der Zersetzung in sehr verschiedenem Grade. Im allgemeinen tritt sie um so leichter ein, je grösser der Anteil ist, welchen Doppelsilikate an der Zusammensetzung haben. Besonders ist der Gehalt an Feldspaten entscheidend. Daher sind die Gneise am leichtesten angreifbar. Glimmerschiefer, Thonschiefer und Chloritschiefer sind hingegen sehr widerstandsfähig.

Unter den klastischen Gesteinen stehen durch ihre hochgradige Zersetzbarkeit oben an alle Tuffgesteine, welche ursprünglich aus zusammengehäuften Zertrümmerungsprodukten von unzersetzten Eruptivgesteinen bestehen. Die bei vulkanischen Ausbrüchen auf dem Festlande zerstäubten Lavamassen, die losen Auswürflinge der Vulkane, die viel massenhafter auftretenden, ihrer Entstehungsweise nach nicht ganz verstandenen, submarin gebildeten Anhäufungen von Trümmermassen — dies alles sind Tuffbildungen, welche das gemeinsame Merkmal haben, dass sie den zersetzenden Agentien eine unendlich grosse Fläche darbieten. Dies gilt besonders von den losen Auswürflingen der Vulkane, während die submarin gebildeten Tuffe in verschiedenem Grade, manchmal sehr innig, zu festem Gesteine verbunden sind. Tufflandschaften gehören wegen der ausserordentlich grossen Verwitterbarkeit in der Regel zu den fruchtbarsten Gegenden.

Ueberhaupt sind alle diejenigen klastischen Gesteine, welche aus der Zertrümmerung von Eruptivgesteinen und feldspathaltigen kristallinischen Schiefern hervorgegangen sind, an sich in demselben Grade zersetzbar wie diese selbst; aber die Angriffsfläche ist bei ihnen viel grösser. Diejenigen hingegen, welche, wie die meisten Sandsteine und Schieferthone, aus wiederholt aufgearbeitetem Materiale bestehen, sind widerstandsfähiger, weil sie selbst aus Rückständen von Zersetzungsprozessen zusammengesetzt sind.

b. Regionale Verschiedenheit der Zersetzungsvorgänge.

§ 47. Da Feuchtigkeit, Wärme und Vegetation von grösstem Einflusse auf die Intensität der Zersetzungsvorgänge sind, so wird diese naturgemäss in warmen und kalten Gegenden, in solchen mit reichlichem und geringem Regenfalle verschieden sein, und es ist vorauszusetzen, dass eine mehr oder weniger dichte Vegetation sie in hohem Grade beeinflussen wird. Wenn sich auch somit vermuten lässt, dass den Wärmezonen der Erde, ebenso wie den Gebieten der Regenverteilung und den

von verschiedenen Vegetationsformationen bedeckten Erdräumen, eine regionale Verteilung in der Intensität der Zersetzungsvorgänge entsprechen wird, so ist doch die vergleichende Betrachtung dieser Erscheinungen noch wenig gepflegt worden. Nur im allgemeinen ist bekannt, dass an den Felsen der Hochgebirge und in hochnordischen Regionen die Zersetzung der Felsarten langsam von statten geht, während man in wärmeren Gegenden meilenweit über dem vollkommen verfaulten Ausgehenden wohl erkennbarer Gneise und kristallinischer Schiefer reisen kann, ohne ein einziges Handstück frischen Gesteins schlagen zu können. Allerdings tritt, was den Betrag der Zerstörung überhaupt betrifft, die mechanische Zertrümmerung der Gesteine durch Spaltenfrost in kalten Gegenden vollkommen kompensierend ein; ihre Gesamtwirkungen sind wahrscheinlich, wenn man gleiche Areale, in denen der eine und der andere Vorgang charakteristisch auftreten, miteinander vergleicht, noch bedeutender als diejenigen der chemischen Zersetzung.

Ein wichtigeres Feld der Beobachtung bietet sich dem Reisenden in der regionalen Differenzierung der Art der Zersetzungsprodukte, welcher natürlich nur ein ähnlicher Unterschied in den chemischen Prozessen zu Grunde liegen kann. In unseren Gegenden zeichnet sich als das allverbreitete Endprodukt ein gelbgefärbter, strukturloser, knetbarer Lehm, welcher durch mannigfaltige Beimengungen verschiedenen Charakter annehmen kann. Auf ursprünglicher Lagerstätte bekleidet er die Gehänge, wo er durch Wasser an den schwächer geneigten oder vertieften Stellen zusammengespült ist; aber er bildet auch den wesentlichsten Bestandteil des gesamten Schwemmlandes. Gelb und braun sind auch die vorherrschenden Farben des zersetzten Gesteins in den vorhergehenden Stadien der Umänderung. In den feuchten und vegetationsbedeckten Ländern der Tropen hingegen haben die Zersetzungsprodukte eine rote Farbe. Sie entsteht durch die reichliche Beimengung von Eisenoxyd, während die braune Farbe des Lehms durch Eisenoxydhydrat veranlasst wird. In dem Abschnitte über die Bodenarten und speziell über den Laterit (§ 206) soll hierauf ausführlicher eingegangen werden.

c. Tiefenzersetzung (oder kumulative Zersetzung).

§ 48. Wenn freistehende Felsen verwittern, so wird durch jeden Regen ein Teil der lose gewordenen Bestandtteile fortgeführt; es bieten sich den Agentien fortdauernd neue Angriffsflächen.

Daher üben sie eine erhebliche Gesamtwirkung; aber dieselbe ist nicht zu erkennen, da die Produkte der Zersetzung nicht mehr an Ort und Stelle vorhanden sind.

Ganz anders ist es, wenn auf flachem oder wellig-hügeligem Boden die Zersetzung nach der Tiefe fortschreitet, aber kein fliessendes Wasser die Zerstörungsprodukte entführt. Dann bleiben diese an Ort und Stelle; die Gesteine werden verändert, behalten aber die Struktur, soweit sie nicht aufgelöst werden. Stark befeuchtete Waldgebirge, besonders in den Tropen, sind diesem Vorgange günstig; wie weit er vorgeschritten ist, wird auch wesentlich von der Länge der Zeit abhängen, während welcher er wirken konnte. Kälte und Trockenheit sind ungünstig, auch wenn erstere mit viel Feuchtigkeit und letztere mit viel Wärme verbunden ist.

Bei Rio fand Darwin Granit und Gneis bis zu 100 Fuss Tiefe hochgradig zersetzt; im Innern von Brasilien sind diese Gesteine bis in noch grössere Tiefen vollständig weich. Bei den arabischen Schiefern im südöstlichen Teile der Vereinigten Staaten reicht die Verwitterung 200 Fuss tief. Die durch sie gelockerte Rinde der kristallinischen Schiefer und des Granites der kalifornischen Sierra Nevada ist durch den Bergbau stellenweise in derselben Mächtigkeit aufgeschlossen. Aehnliches wird von den ältesten Gesteinen an manchen Orten der indischen Halbinsel berichtet. Im nordöstlichen China sind Gneis, Gneisgranit und eruptiver Granit über weite Gebiete mehrere hundert Fuss tief zersetzt und mit dem Messer schneidbar; nur die Quarzgänge sind unzersetzt. Der geologische Bau der südamerikanischen Anden ist dort, wo reichlich Regen fällt, schwer zu untersuchen, weil die Gesteine in weiten Gebieten nur aus dem lockern Verwitterungserdreiche, in das sie verwandelt sind, erkannt werden können. Dort dürfte die Tiefe des zersetzten Gesteins stellenweise Hunderte von Metern betragen.

Aus der dem Grade nach ausserordentlich schwankenden Zersetzungsfähigkeit der einzelnen Gesteine ergiebt sich die notwendige Folgerung, dass, wenn in solchen Gegenden durch Zeiträume, welche zuweilen nach Hunderttausenden von Jahren bemessen werden können, eine Fortführung der Zersetzungsrückstände nicht stattgefunden hat, der Grad, in welchem ihr die einzelnen Gesteine unterlegen sind, ein sehr verschiedener sein wird; und zwar wird er sich keineswegs nach der Härte richten. Denkt man sich alles durch Verwitterung gelockerte Material entfernt, so wird eine solche Gegend eine äusserst

unregelmässige Oberfläche bieten. Weiche Thongesteine, Phyllite, Glimmerschiefer und Quarzite würden wegen ihrer Resistenz gegen Kohlensäure aufragende Massen bilden. Die härtesten Feldspatgesteine hingegen, wie Granit und Gneis, würden durch Vertiefungen von mehreren hundert Fuss bezeichnet sein; nur einzelne harte Kerne derselben würden teils aufragen, teils in den Senkungen zerstreut sein. Gänge von festem Eruptivgesteine würden als tiefe kanalartige Rinnen erscheinen; Gänge von Quarz und anderm widerstandsfähigen Gesteine hingegen als scharfgeschnittene Leisten und Mauern oder, wenn sie netzartig angeordnet sind, als Umrandungen vertiefter Zellen aufragen. Kalkstein würde nur noch in Resten vorhanden sein; seine Stelle würde durch ein verhältnismässig geringes Residuum von thoniger Substanz eingenommen werden. Die Oberfläche würde also derjenigen, welche durch Erosion hervorgebracht wird, keineswegs entsprechen, sondern ein davon ausserordentlich verschiedenes Bild darbieten. Statt Thalsystemen würden wir unregelmässige Depressionen sehen. Die petrographische Karte würde sich in dem neuen Relief in den geringsten Unterschieden wiederspiegeln.*)

Es ist gut, sich dies zu vergegenwärtigen; denn der Reisende kommt in Fälle, wo er verschiedene Stadien dieser Vorgänge beobachten kann. Wir werden an anderen Stellen auf Oberflächenformen hinweisen können, welche durch ihre Eigentümlichkeit jener unregelmässigen und scheinbar widersinnigen Grundfläche der kumulativen Zersetzung zu entsprechen scheinen. Das Problem ist aber noch nirgends eingehend studiert worden. Es würde zunächst darauf ankommen, ihm dort, wo die Zersetzungsmassen noch vorhanden sind, Aufmerksamkeit zu widmen. Das Verhältnis, welches in dieser Beziehung die Itakolumite und andere Gesteine zum Gneise in Brasilien haben, würde z. B. sehr lehrreich sein. Auch die feuchten Waldgegenden in Afrika dürften zum Teile für Aufschlüsse geeignet sein.

d. Rückstände der Zersetzung.

Dieser Gegenstand kann hier übergangen werden, da im zwölften Kapitel ausführlicher die Rede von ihm sein wird.

*) Auf diese Thatsachen hat zuerst Alfred Selwyn (Geol. Mag. IV, 1877, p. 93) gelegentlich hingewiesen. Ausführliche Behandlung und Anwendung auf Gesichtspunkte von grosser Tragweite erfuhren sie durch Raphael Pumpelly (Am. Journ. Sc., ser. 3, vol. XVII, 1879, p. 138 ff.).

Fünftes Kapitel.

Beobachtungen über Bodenwasser und Quellen.

§ 49. Alles Wasser hat das Bestreben, der Schwere folgend nach der Tiefe zu dringen; und nur insoweit sich ihm dafür keine Wege bieten, oder es die vorhandenen nicht schnell genug zu benutzen vermag, fliesst es an der Oberfläche oder sammelt sich in Becken. Jedes Gestein vermag infolge seiner Porosität und Kapillarität Wasser aufzunehmen, wenn auch manches in sehr geringem Masse und nur unter hohem Drucke. Einen leichtern Weg bieten die Risse und Klüfte, welche bei Kalksteinen durch Lösung hinreichend erweitert sein können, um ganze Ströme aufzunehmen. Am meisten permeabel ist lockerer Aufschüttungsboden, wie Gebirgsschutt, loser Kies, Sand, vulkanischer Tuff und Löss.

1. Grundwasser und Brunnen.

§ 50. Grundwasser. — Das in den Boden dringende Wasser folgt in der Bewegung nach abwärts den sich ihm darbietenden Kanälen in der durch sie vorgeschriebenen Richtung, bis es einem Hindernisse begegnet, d. h. bis es entweder auf eine in der Tiefe ruhende Wasserschicht stösst und zu deren Erhöhung beiträgt, oder bis es an ein Gestein gelangt, dessen Permeabilität so gering ist, dass es nur einem kleinen Teile des andringenden Wassers weitern Durchgang nach der Tiefe zu gestatten vermag. Es breitet sich dann auf der Oberfläche dieses Gesteins aus, wenn sie horizontal ist, oder bewegt sich auf ihr nach abwärts, wenn sie geneigt ist, und kann dann die Erdoberfläche

an einer Stelle, welche tiefer liegt als das Einströmungsniveau, wieder erreichen. Besonders wasserdicht sind durchfeuchtete plastische Thone und thonige, nicht von Klüften durchsetzte Schichtgesteine; ferner der Lettenbesteg, welcher sehr häufig die Verwerfungsklüfte ausfüllt und die zu beiden Seiten derselben anstehenden Gesteine voneinander trennt, oder eine Gangmasse, besonders auf der Liegendseite, von dem Gebirgsgesteine scheidet. Ist die wasserundurchlassende Schicht, wie es am Boden alter See-Ausfüllungen häufig vorkommt, trogförmig gekrümmt, so sammelt sich das Wasser an und bildet eine Art See im Boden, den man als Grundwassersee bezeichnen kann. Die Oberfläche desselben wird nicht eben sein, weil die Wasserteilchen in der freien Bewegung gehindert sind, sondern dort, wo das Wasser zufliesst, am höchsten sein, den tiefsten Stand aber an den Stellen erreichen, wo dasselbe zu entweichen vermag. Denkt man sich durch den tiefsten Teil einer solchen Mulde einen Kanal gezogen, welcher die undurchlassende Schicht durchschneidet, also einen Kanal von solcher Art, wie Flüsse sich ihn häufig graben, so kann das Grundwasser nicht stagnieren, sondern wird zu beiden Seiten des Kanals an der Grenze der wasserdurchlassenden Massen gegen die wasserdichte Schicht herausströmen; es ist die einfachste Form der Quellen.

§ 51. Herstammung des Grundwassers. — Grundwasserseen, d. h. stagnierende oder langsam sich fortschiebende, weit ausgebreitete und nach oben nicht wasserdicht abgeschlossene Ansammlungen von Wasser im Boden, gehören wesentlich den Alluvialthälern der Flüsse, dem Schwemmlande und Aufschüttungsboden überhaupt, an. Sie sind in Kulturländern von hoher Wichtigkeit, finden sich aber auch in Steppen und Wüsten, falls der lockere Boden zu einer Tiefe hinabreicht, in welcher seine starke Erhitzung an der Oberfläche nur noch einen indirekten und unbedeutenden Einfluss auf die Verdunstung ausübt. In Thalausfüllungen und den grossen Niederungen der Ströme kann das Grundwasser einen dreifachen Ursprung haben; denn es stammt teils unmittelbar von dem auf der Ebene selbst niederfallenden Regen, teils ist es von den Gehängen der Umrandung herabgespült und im lockern Boden versunken, teils kann es unter gewissen Umständen von den Strömen her infiltriert sein. Letzteres ist aber nur dann möglich, wenn die Verdunstung durch den erhitzten, porösen Boden hindurch in die Atmosphäre den Niederschlag übersteigt. Dieser Bedingung entsprechen

z. B. regenlose Sandgebiete oder nur periodisch durch Regen benetzte Länder von lockerm Steppenboden, welche von grösseren Strömen durchzogen werden; dann nimmt die Wassermasse der letzteren in der Richtung der Strömung allmählich ab. Ist hingegen der Niederschlag grösser als die Verdunstung, und findet bedeutendes Zuströmen von den benachbarten Gehängen her statt, so wird das Grundwasser in deren Nähe ein höheres Niveau haben als in der Mitte des Thales; daher wird ein langsames Fortschieben gegen diese hin stattfinden. Der Hauptstrom kann dann in der Regel kein Wasser in den angrenzenden Boden sickern lassen, aber sein höherer oder niederer Wasserstand wird doch das Grundwasserniveau im Boden bis auf eine gewisse Entfernung beeinflussen, und bei hohem Stande kann er sogar etwas Wasser dorthin entsenden.

Das Grundwasser speist in bewohnten und kultivierten Ländern die Mehrzahl der Brunnen und kann, wie in China, wo in manchen Gegenden jedes Feld seinen Brunnen hat, zur Berieselung der Aecker und Gärten verwendet werden. Die Brunnen sind gleichsam künstliche Quellen, durch welche der im Boden befindliche See angezapft wird. Daher bieten sie das Mittel für dessen Untersuchung. Das Wasserniveau sämtlicher Brunnen zeigt dasjenige des Grundwassers an. Die Gestalt der Oberfläche des letztern richtet sich bei gleichmässigem Regenfalle wesentlich nach der des Bodens. Mit diesem steigt sie in einem Flussthale von dem Strome gegen die Gehänge allmählich an. (Fig. 5.) Zwischen zwei Einschnitten in einem Flachlande bildet sie eine konvexe Wölbung, deren Scheitel als eine unterirdische Wasserscheide zu bezeichnen ist. (Fig. 6.) Ist der Boden wellig, wie bei Sanddünen, so wiederholt die Wasserfläche die Form desselben in abgeschwächtem Masse. (Fig. 7.) Am Meeresstrande steigt daher die Grundwasserschicht landeinwärts an, und es findet von hier aus ein beständiges Abfliessen nach dem

Fig. 5.

Fig. 6

Fig. 7.

Meere, keineswegs ein Eindringen des Meerwassers nach dem Lande statt. Dies beweisen die Süsswasserbrunnen an jedem sandigen oder schlammigen Strande, ebenso wie im Kalksande der Korallenriffe.

Von dem Grundwasser ist die Bodenfeuchtigkeit zu trennen, ein für die Vegetation und hygienische Verhältnisse wichtiges Moment. Sie beruht auf der Kapillarität, der Porosität, dem hygroskopischen Verhalten und der verschiedenen mineralischen Zusammensetzung der Bodenarten. Diese haben die Fähigkeit, das Wasser aus der Grundwasserschicht aufzusaugen, wie man an einem Blumentopfe wahrnimmt, der in einem mit Wasser gefüllten Untersatze steht. Man wird daher für die Oberfläche der Bodenfeuchtigkeit ganz andere Kurven bekommen als für diejenigen des Grundwassers; dieselben werden oft grosse Unregelmässigkeit zeigen. Zufällige Beimengungen des Bodens, wie mineralische Salze oder Humus, werden darauf grossen Einfluss ausüben.

Gegenstände der Beobachtung sind: Die durch Bohrungen oder Brunnenmessungen zu eruierende Gestalt der Wasserfläche, die Temperatur des Wassers und eventuell die Aenderungen beider Faktoren nach Jahreszeiten; ferner der Gehalt des Wassers an mineralischen Salzen, welcher oft schon durch den Geschmack oder durch den Niederschlag beim Kochen erkennbar ist. Bei volksreichen Städten kommt auch der Gehalt an organischen Bestandteilen in Betracht, welche mit dem Wasser in den Boden dringen und je nach dem Steigen oder Fallen des Grundwassers und wahrscheinlich auch je nach den Hindernissen, die sich der permanenten Fortschiebung desselben darbieten, die Ursache epidemischer Krankheiten werden können. Der Stand des Grundwassers kann von grosser Bedeutung für die Vegetation werden, wo es monatelang nicht regnet und die Pflanzen auf das im Boden befindliche Wasser angewiesen sind. Besonders sollte auch untersucht werden, ob und in welchem Masse verschiedene Bodenarten die Höhe des Grundwassers beeinflussen und örtliche Unterschiede veranlassen.

In manchen ausgedehnten Erdräumen ist das Grundwasser reich an schwefelsauren und kohlensauren Alkalien, zu denen häufig noch Chloralkalien treten. Man erkennt die Anwesenheit dieser Salze am Geschmacke des Brunnenwassers, oft auch an dem der Quellen. Dem Auge machen sie sich dadurch bemerkbar, dass sie auf der Oberfläche des Bodens bei der Verdunstung

kristallinisch ausblühen und einen weissen Ueberzug bilden. Wenn Regen den Boden so stark durchfeuchtet, dass eine Wasserverbindung von der Oberfläche bis zum Niveau des Grundwassers stattfindet, so verteilen sich die gelösten Stoffe durch Diffusion bis zur Oberfläche, wo das verdunstende Wasser eine Zeit lang durch anderes, kapillarisch aufsteigendes Wasser von unten ersetzt wird und feine Salze zurücklässt. Noch grösser ist die Konzentration, wenn sich in der feuchten Jahreszeit abflusslose Wasserlachen bilden. Bei der Verkleinerung umgeben sie sich mit einer Zone von Salzausblühungen, und wenn sie ganz verdunsten, lassen sie einen weissen Ueberzug zurück, der zum Teile vom Winde hinweggenommen und über grössere Länderräume als feiner Salzstaub verteilt wird.

§ 52. Die Ursache dieses Salzgehaltes kann verschieden sein und sollte in jedem einzelnen Falle, wenn es möglich ist, festgestellt werden. Man kann es mit einem alten Meeresboden zu thun haben, welcher wegen zu geringer Neigung oder wegen zu geringen Regenfalls oder infolge von stehengebliebenen Ansammlungen von Meerwasser nicht ausgelaugt wurde. Chlornatrium wird dann der Hauptbestandteil der Salze sein. Ferner werden derartige Verhältnisse in allen Gegenden hervorgerufen, wo ein Abfluss nach dem Meere nicht stattfindet. Dann werden die durch das Wasser von den höheren nach den tieferen Teilen getragenen, teils aus marinen Sedimenten durch Lösung entführten, teils von der Verwitterung der Gesteine herstammenden Salze, ebenso wie diejenigen, welche durch die Atmosphäre herzugeweht werden, in dem Boden angesammelt und durch Regen grösstenteils in das allgemeine Reservoir des Grundwassers gebracht. Dies ist der Fall in den unten (§ 123) zu betrachtenden Centralgebieten der Kontinente. Sind später solche Gegenden in den Bereich des Abflusses nach dem Meere gelangt, so bilden die losen Ausfüllungsmassen, insbesondere die Niederschläge aus den centralen Salzseen, eine erst in langen Perioden zu erschöpfende Vorratskammer der verschiedensten Salze. Solche Länder leiden, wo nicht frische Quellen aus dem Gesteine sprudeln, immer an schlechtem, alkalienreichem und salzigem Trinkwasser. Endlich werden ähnliche Verhältnisse überall hervorgerufen, wo die Verdunstung den Niederschlag überwiegt und der Boden fortdauernd das infiltrierte Wasser der Flüsse aufsaugt, indem er die ihm von diesen gebrachten

Salze zurückhält. Dies ist z. B. in der Gegend von Delhi der Fall, wo die Anlage von Schiffahrtskanälen das Niveau des Grundwassers, daher auch der Bodenfeuchtigkeit, höher gelegt und damit die Auswitterung der Salze nach Regengüssen begünstigt hat. — Bei Ning-yuĕn-fu am Gelben Flusse in der chinesischen Nordwestprovinz Kansu fürchtet man den Regen. Der Feldbau wird mit Hülfe von Kanälen betrieben, welche das Süsswasser des Stromes in gerade zureichender Menge über die Felder verteilen. Das Regenwasser dringt tiefer ein und lockt aus dem Grundwasser die Salze, welche man mühsam von der Oberfläche ausgelaugt hatte, in erneuter Auflage an diese heran. Aehnliche auf die natürliche Vegetation und die Kulturfähigkeit Licht verbreitende Beobachtungen werden sich in vielen Ländern mit salzhaltigem Grundwasser anstellen lassen.

§ 53. Artesische Brunnen. — Unter ganz anderen Bedingungen als das Grundwasser, welches dem lockern Erdreiche der obersten Bodenschichten angehört, steht dasjenige Wasser, welches unter der obersten wasserundurchlassenden Schicht cirkuliert oder stagniert. Da jene Schicht immerhin kleinen Wassermengen allmählich den Durchlass gewährt, so könnte auch ohne irgend einen andern Zufluss das Erdreich unter ihr mit Wasser erfüllt sein. Doch wird selten ein vollkommener Abschluss stattfinden und vielmehr fast immer noch ein anderer Zufluss von Wasser möglich sein. Dies ist besonders der Fall bei muldenförmiger Lagerung, wobei die gebogenen Schichten frei zu Tage ausstreichen. Ist die Mulde kesselförmig geschlossen, so wird das Wasser in der Tiefe zurückgehalten, und da die dasselbe aufnehmenden Schichten damit erfüllt sind, so steht es unter dem hydrostatischen Drucke einer Wassersäule, welche dem Vertikalabstande des betreffenden Wasserortes von dem Einflussniveau entspricht. Solche Wasseransammlungen werden

Fig. 8.

durch die artesischen Brunnen (Fig. 8) angezapft. Wenn das bei *c* gestossene Bohrloch die wasserdichte Schicht *aa* durchstossen hat, so kann ein erstes Aufsteigen erfolgen; wird es bis

unter die zweite wasserundurchlassende Schicht *bb* fortgesetzt nach den wasserhaltenden Schichten *mm*, so wird ein noch grösserer Wasserzudrang stattfinden. Das Wasser hat das Bestreben, bis zu derjenigen Höhe emporzusprudeln, welche dem hydrostatischen Drucke entspricht, und es kann in vertikalen Röhren aufgefangen bis zu beträchtlicher Höhe über die Oeffnung des Bohrlochs als künstliche Springquelle aufsteigen.

Durch den Vorgang der Franzosen in Algier, vermittelst artesischer Brunnen das Steppenland zu bewässern und anbaufähig zu machen, ist die Möglichkeit der Anlage solcher künstlicher wasserreicher Quellen eine wichtige Frage für viele Steppengegenden geworden. Die chinesische Regierung wendet derselben betreffs der um das Westende der grossen Mauer gelegenen Gebiete Aufmerksamkeit zu, und es dürfte sich dem Reisenden manchmal Gelegenheit bieten, die Möglichkeit der Erreichung von artesischem Wasser in Betracht zu ziehen. Es bedarf dazu einer eingehenden Untersuchung der betreffenden Gegend. Am günstigsten ist eine vollkommen beckenförmige Lagerung der Schichten, wie sie in dem Kreidebecken von Paris in normalster Form vorliegt. In weit grösserem Massstabe findet ausgezeichnete beckenförmige Lagerung in dem grossen Becken der Provinz Sz'-tshwan in China statt, und hier bestehen Tausende von Bohrlöchern bis zu Tiefen von 2000 Fuss, aus denen man Salzsole gewinnt, während andere Bohrlöcher, welche die Tiefe von 3000 Fuss erreichen, mit grosser Gewalt ausströmendes Leuchtgas liefern, welches zum Versieden des Salzes verwendet wird.

Auch wo tafelartig gelagerte Schichten unter geringen Winkeln gleichförmig nach einer Richtung einfallen, sind die Bedingungen zum Eindringen des Wassers in durchlässige Schichten, welche zwischen wasserdichten lagern, gegeben. Das Aufsaugungsgebiet kann in diesem Falle einen grossen Umfang erreichen. Selbst wo das Einfallen regelmässig auf grosse Strecken fortsetzt, wird man an solchen Stellen, welche zwischen Aufsaugungsgebiet und Ausflussgebiet des Wassers liegen, das letztere in Bohrlöchern gewinnen können. Aber der Wasserreichtum ist grösser und die Kraft des Empordringens stärker, wo das in der Tiefe eingeschlossene Wasser nicht zu entweichen vermag. Dies kann dadurch eintreten, dass die tafelartige Lagerung der Schichten im Fortstreichen eine Unterbrechung durch Aufbiegung oder durch eine Verwerfung erleidet. (Fig. 9.)

Die Oasen Dakhel, Farafreh und Khargeh verdanken ihre Existenz einem derartigen tiefen Reservoir, welches durch Brunnen angezapft wird. In alter Zeit konnte man jeden Brunnen durch einen an einem langen Stricke befestigten Stein verschliessen, welcher in die Oeffnung, mit der die wasserundurchlassende Schicht durchbohrt war, eingelassen wurde. Das Aufsaugungsgebiet dieser Schicht sucht Zittel weit im Süden, wo dieselbe unter regenreicherm Klima zu Tage ausgehen muss. In diesem Falle scheint durch eine weiter nördlich stattfindende Aufbiegung der Schichten das Wasser festgehalten zu werden. Der andere Fall, dass eine Verwerfungskluft das unterirdische Wasserbehältnis abschliesst, scheint bei einigen durch künstliche Bohrung erwirkten Springquellen von Salzwasser vorzuliegen.

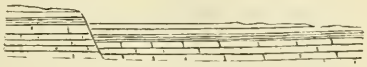

Fig. 9.

Bei allen artesischen Brunnen, die in grosse Tiefe hinabgehen, ist die Messung der Wärme, welche der jener Tiefe eigentümlichen Temperatur entsprechen sollte, zu bestimmen; ebenso der Gehalt des Wassers an gelösten Bestandteilen und die Menge des in einer gewissen Zeit ausströmenden Wassers.

2. Quellen.

Quellen entstehen überall, wo das in Fels und Erdreich eingedrungene Wasser, entweder einfach der Schwere folgend oder durch hydrostatischen Druck aufwärtsgetrieben, wieder an die Oberfläche kommt und ausströmt. Der Weg von der Einsickerungsregion zu der Stelle des Austretens kann kurz und einfach oder lang und zuweilen sehr verwickelt sein. § 54.

Sickerwasser. — Wo eine Vertiefung im Boden die Grundwasserschicht nicht erreicht, erhält sie keinen Zufluss; wo sie in dieselbe hinabgeht, bildet sich entweder ein Tümpel stagnierenden Wassers, welcher im Niveau des Grundwassers liegt und mit diesem steigt und fällt, oder dasselbe sickert, falls ein Abfluss vorhanden ist, beständig aus. § 55.

Daher rühren in Gegenden mit permeablem Gesteine oder Erdreiche die sumpfigen, moorigen und torfigen, mit reicher Baumvegetation bestandenen Vertiefungen, während die Hügel trocken und kahl sind. In Gegenden mit sandigem und salzhaltigem Boden setzt sich aus den Sickerwassern bei starker Verdunstung

eine Kruste von Salz, Gips und etwas Thon ab, welche das Einsickern des Wassers vollständig verhindern kann. In dieser Weise sind im nördlichen Afrika mehrere Oasen verschwunden. In den tunesischen Chotts fand man, dass ein Bohrloch von 30 m durch die Inkrustationsschicht hindurch das Süsswasser erreicht.

Da die Oberfläche des Grundwassers mit dem Regen steigt und fällt, so werden bei einer klimatischen Aenderung die Sickerwasser solche Einsenkungen, die früher beständig befeuchtet wurden, nicht mehr erreichen oder nach solchen aufsteigen, die ehemals trocken waren. Ersteres dürfte in entwaldeten Gegenden häufig wahrzunehmen sein.

§ 56. Grundwasserquellen. — Eine Ansammlung des Grundwassers zu beständig fliessenden Quellen findet dort statt, wo eine wasserundurchlassende, unter lockeren Aufschüttungsmassen ruhende Schicht gegen ihre Einfallsrichtung von einem Gehänge, einem Thalrande oder einem Einschnitte irgend welcher Art durchschnitten wird. An der durch den Punkt *a* (Fig. 10 und 11)*)

Fig. 10.

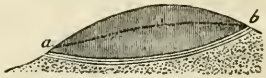

Fig. 11.

bezeichneten Berührungslinie werden Quellen in grosser Zahl ausbrechen, wie dies an Eisenbahndurchschnitten, bei den Auflagerungen von Löss und Lehm und überhaupt in zahlreichen Fällen zu beobachten ist. Ein Teil des Wassers wird aber infolge der Wölbung der Grundwasserschicht auch bei *b* zum Vorscheine kommen.

§ 57. Oberflächen-Schichtquellen. — Setzen wir an Stelle des permeablen Bodens zerklüftetes Gestein, so nimmt dieses das Wasser in noch weit grösserer Menge auf; der Vorgang aber ist derselbe, bis auf den Umstand, dass Klüfte und Höhlungen im Gesteine dem Wasser viel bestimmtere Wege anweisen. Es sammelt sich in wenigen Kanälen, während andere durch Ablagerung verstopft werden, und kommt

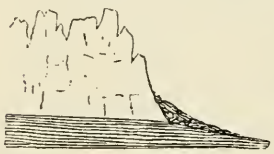

Fig. 12.

*) Die Figuren 10 und 7 sind de Lapparents Handbuch der Geologie entlehnt.

in Gestalt einzelner starker Quellen (rechte Seite in Fig. 12) zum Vorschein. Diese Erscheinung ist häufig in den Kalkalpen, besonders in den Dolomitgebirgen von Südtirol, zu beobachten. Da der Kalkstein sehr viel Wasser in zahllosen feinen Fugen und Klüften festhält, so fliessen solche Quellen oft gleichmässig das ganze Jahr hindurch. Sie sollten wegen der grossen Mächtigkeit des Kalksteins, die oft mehrere tausend Fuss beträgt, die Temperatur des innern Gebirges haben. Doch ist hier häufig der erkältende Einfluss der Schuttmassen, unter denen viele Quellen hervorkommen, zu beobachten. Derselbe beruht auf der Verdunstung durch die von der Sonne erhitzten lockeren Anhäufungen und sollte daher im Sommer am stärksten sein. Permanente Eisbildungen, welche sich in Gebirgen auch im Sommer erhalten, scheinen davon herzurühren. Dieser Umstand erhöht das Interesse der Temperaturbeobachtungen an Quellen, mahnt aber auch zur Vorsicht bei Schlussfolgerungen.

Fig. 13.

Wenn die Unterlage muldenförmig gestaltet ist, wie in Fig. 13, so wird dieselbe das eindringende Wasser wie eine Schüssel halten und nur den Ueberschuss über den niedrigsten Punkt des Randes oder, wegen der nicht freien Kommunikation, über mehrere niedrige Punkte des Randes entweichen lassen.

Mechanische Wirkungen der Grundwasserquellen. § 58. — Wenn das Grundwasser eine bis zu mehreren hundert Metern mächtige permeable Schuttanhäufung erfüllt und auf einer geneigten Unterlage ruht, welche an einem den Ausfluss gestattenden tiefen Bodeneinschnitte endet, so wird eine zweifache Bewegung stattfinden. Am Boden bewegt sich das Wasser auf der schiefen Ebene hinab, während die ganze Wassersäule von oben nach unten sinkt, um den Verlust auszugleichen. Die letztere Bewegung ist gleichmässig durch eine sehr grosse Masse verbreitet und kann nur ausserordentlich langsam sein, sodass ihr mechanischer Effekt sehr unbedeutend sein und wesentlich auf der Fortführung löslicher Bestandteile beruhen wird. Bei der ersteren Bewegung findet ein Fliessen des Wassers auf einer festen Unterlage statt. Auch dieses geschieht wegen der Hindernisse, welche jedes Bodenteilchen darbietet, sehr langsam. Der mechanische Effekt ist darauf gerichtet, die letzteren auf

der Fläche hinab gegen den Ausgangspunkt hin zu bewegen. Er ist ebenfalls gering, weil die Transportkraft des Wassers sich an jeder einzelnen Stelle wegen der fortdauernden Hindernisse seiner Bewegung nur in minimalem Grade entwickeln kann. Allein sie wächst nach abwärts unablässig an. Denn bei 0 (in Fig. 14) beginnt nur das von m senkrecht niederkommende Wasser zu fliessen; bei 1 muss das ganze auf dem Raume mm^1, bei 2 das auf mm^2 eingedrungene Wasser hinabbefördert werden.

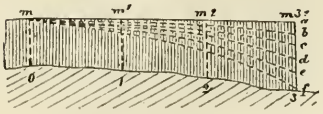

Fig. 14.

Die auf der Unterfläche bewegte Wassermasse muss also in geradem Verhältnisse zur Entfernung vom Scheitelpunkte zunehmen, d. h. sie wird in der doppelten Entfernung doppelt, in der dreifachen dreimal so gross sein als in der einfachen Entfernung. Da aber die erodierende und transportierende Kraft des fliessenden Wassers in höherem Verhältnisse zunimmt als die Wassermasse, so wird der mechanische Effekt in dem Punkte 2 mehr als doppelt so gross sein als in 1, und in 3 mehr als dreimal so gross als in 1. Dazu kommt, dass die näher an 3 gelegenen Teilchen einen leichten Ausweg finden, diejenigen bei 2 und bei 1 in steigender Verlangsamung auch bei gleicher Kraft nachgeschoben werden können. Da nun in dem Masse, als feste Bestandteile an der Bodenfläche hinweggeführt werden, die ganze Masse der Schuttbildungen nachsinken wird, so wird nach einem ersten Stadium die Oberfläche ma nach mb verlegt werden und so fort, bis sie die Gestalt mf hat.

Dieselbe Wirkung wird auch unabhängig von dem Vorhandensein einer wasserundurchlassenden Unterlage erreicht werden. Es wurde in § 51 dargestellt, dass eine Wasserscheide besteht, wenn nach zwei entgegengesetzten Richtungen eine Fortbewegung des Grundwassers nach Einschnitten des Bodens vor sich geht. Auch in diesem Falle (s. Fig. 6, S. 114) wird daher eine Abrundung des Bodens infolge unterirdischer Fortbewegung der Teilchen in der Richtung des Abflusses eintreten müssen. Es dürften sich hierdurch die flachen Bodenwellen erklären, welche für die meisten aus Schwemmland bestehenden Gegenden, in denen Höhendifferenzen von einigen hundert Fuss zwischen den Sohlen der Wasserrinnen und den äusseren Wasserscheiden bestehen, charakteristisch sind. Die Oberflächenerosion ist sehr häufig

nicht ausreichend, um die Entstehung der äusserst sanften Abrundungen zu erklären, weil das Wasser sich in Rinnen sammelt und weder auf breiten Flächen fliesst, noch in Flächen abzutragen vermag. Das spülende Wasser, welches bei stärkeren Neigungen ein mächtiges Agens ist, ist bei flachen Neigungen zur Erklärung ebenfalls unzureichend.

Es müsste in solchen Fällen die Gestalt des Querdurchschnittes der einzelnen Bodenwellen genau festgestellt und dann die Untersuchung darauf gerichtet werden, ob ein Verhältnis dieser Gestalt zur Breite der Wellen und zur Bodenart besteht, und inwiefern die äussere Kurve eine Funktion derjenigen der Oberfläche des Grundwassers ist.

Am deutlichsten ist der dargestellte Effekt bei denjenigen Bodenarten, welche die Neigung zu vertikaler Absonderung haben, vor allen bei dem Lösse. Wo immer diese Bodenart im grossen auftritt und durch bis auf den Untergrund hinabreichende Erosionsfurchen aufgeschlossen ist, hat sie ihre ursprüngliche Oberflächengestalt, welche diejenige ausserordentlich flacher Mulden ist, nicht bewahrt. An ihre Stelle ist ein Abfallen in Terrassen gegen die Abflussrinnen hin getreten (s. Fig. 15). An den Wasserscheiden ist die Ausbreitung in der Regel fast eben. Wenn man dann gegen die tief eingeschnittenen Abflussrinnen zuschreitet, stellen sich erst in weiten Abständen vereinzelte Terrassenabfälle von geringer Höhe ein; dann werden ihre Horizontalabstände immer kleiner, der vertikale Abfall zugleich immer grösser. Der labyrinthische Charakter der Lösslandschaften wird wesentlich dadurch hervorgebracht, dass die Terrassenbildungen sich in jeden Zufluss hinein und von diesem wieder in dessen tributäre Abflusskanäle hinein, verzweigen, und jedes solche Rinnsal sein eigenes Terrassensystem hat. Diese Terrassen sind mit grosser Wahrscheinlichkeit durch das Nachsinken des Lösses infolge der Fortführung löslicher Bestandteile und der mechanischen Erosion am Boden entstanden. Das beständige Fortschreiten des Vorganges lässt sich in dem Rückwärtswachsen der Schluchten und der Entstehung der „Lössbrunnen“ beobachten. Es bildet sich hier nicht eine gleichmässige Oberflächenkurve wie bei anderen Bodenarten, da die grosse Konsistenz des Lösses, verbunden mit seiner Neigung zu vertikaler Absonderung,

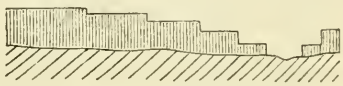

Fig. 15.

nur ein Abstürzen in Terrassen durch Senkung entlang vertikalen Brüchen gestattet. *)

§ 59. Quellen in Schichtgestein. — Als Tiefen-Schichtquellen können alle Quellen bezeichnet werden, welche dem unter der obersten undurchlassenden Schicht zirkulierenden Wasser ihre Entstehung verdanken. Sie entsprechen den Verhältnissen, welche die Anlage der artesischen Brunnen (§ 53) voraussetzt. Ist bei dem in Fig. 16 dargestellten Becken der linke Rand bedeutend höher als der rechte, so befindet sich das Wasser bei *a* unter einem hydrostatischen Drucke, welcher dem Höhenunterschiede von *b* und *a* entspricht, und wird in

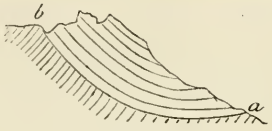

Fig. 16.

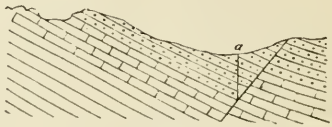

Fig. 17.

mächtigen Quellen aufsteigen. Dasselbe wird an einer Stelle in der Mitte des Beckens der Fall sein können, wenn eine Verwerfungskluft, wie in Fig. 17, das Schichtensystem durchsetzt, und das Wasser an ihr einen Ausgang gefunden hat. Manche Seen mögen in dieser Weise gespeist werden.

Dieser einfache Fall modifiziert sich in verschiedener Weise in Gebirgen, welche aus gefalteten Sedimentgesteinen bestehen. Bezüglich der in ihnen vorwaltenden Thalformen (s. Kap. XVI) lässt sich leicht erkennen, dass im allgemeinen, wenn nicht Klüfte oder Furchenthäler die Regelmässigkeit der Cirkulation

*) Diese Erklärung der Lössterrassen ist abweichend von derjenigen, welche ich bei früheren Gelegenheiten, insbesondere in „China", Band I, zu geben versuchte. Ich habe sie selbst längst an deren Stelle gesetzt, weil mir die mechanische Unmöglichkeit, die Formen und Anordnung der Terrassen durch die Absonderung horizontaler Bänke zu erklären, klar wurde. Um die hier gegebene Erklärung zu prüfen, wird es zweckmässig sein, Profile in Lössländern über Lössrücken hinweg, oder von einem Lössrücken zu einem andern quer über das zwischenliegende Schluchtensystem nach genauem Masse zu konstruieren. Auch auseinandergerissene Bauwerke, von denen zuweilen ein Teil viele Meter tief senkrecht hinabgesunken ist, erhärten den Beweis. Man könnte vielleicht an ihnen einen Anhalt gewinnen, um die Schnelligkeit des Vorganges annähernd zu bestimmen.

beeinträchtigen, ein Thal in isoklinen Schichten (Fig. 18) eine quellenreiche und eine quellenarme Seite haben wird. Diese Ursache vereinigt sich mit dem Umstande des leichten Abrutschens der durch die Quellen erweichten Schichten, um, besonders bei

Fig. 18. Fig. 19. Fig. 20.

steiler Schichtenstellung, die Vorzüge der Seite *b* gegen die Seite *a* bei Eisenbahnbauten hervortreten zu lassen, ein Umstand, dessen Vernachlässigung sich in einigen Fällen, z. B. an dem nördlichen Teile der Brennerbahn, in verhängnisvoller Weise fühlbar macht. Ein in antiklinen Schichten eingesenktes Thal (Fig. 19) ist quellenarm, wenn nicht, wie in Fig. 20, auf einer Seite eine Umbiegung in solcher Weise stattfindet, dass das Aufsaugungsniveau höher liegt als das Ausbeissen der wasserführenden Schichten an der Thalwand. In einem Thale mit synkliner Schichtenstellung können beide Gehänge quellenreich sein, wenn die Neigung der Schichten geringer ist als diejenige

Fig. 21. Fig. 22. Fig. 23.

der Gehänge (Fig. 21), quellenarm wenn sie die letztere übertrifft (Fig. 22). Doch kann dann der oben dargestellte Fall eintreten, dass eine Seite höher liegt als die andere, und dann an dieser ein Ausfliessen des Wassers stattfinden (Fig. 23). In Querthälern haben diese einfachen Gesetze wenig Anwendung. Sie öffnen jeder wasserhaltenden Schicht, welche sie durchschneiden, einen Ausweg; daher sind sie im allgemeinen reicher an Quellen als Längsthäler.

In Gebirgen, welche aus Eruptivgesteinen aufgebaut sind, bringen Einlagerungen von Tuffen, die sich meistenteils leicht mit Wasser vollsaugen, oft grossen Quellenreichtum hervor. Wo Tuffe fehlen, können die Klüfte, welche solche Gesteine zu durchsetzen pflegen, in grosse Tiefe hinabreichen. Hier versinkt das Wasser, bis es aufgehalten wird. Quellen mögen zum Teil

dadurch hervorgerufen werden, dass das Wasser bis zu einem gewissen Niveau alle ihm zugänglichen Räume ausfüllt und der Ueberschuss hervorquillt. Oder die Klüfte mögen einen Ausweg für Wassermassen bilden, welche sich in der Tiefe, vielleicht infolge der Stellung von benachbarten Sedimentgesteinen, unter hohem hydrostatischen Drucke, befinden. Im erstern Falle wird das Wasser kalt sein und der Ausfluss wird periodischen Schwankungen unterliegen; im zweiten werden kontinuierliche warme Quellen vorhanden sein. Letztere sind häufig an Eruptivgesteine gebunden, sodass deren Rolle als Vermittler einer Verbindung der Tiefe mit der Oberfläche ersichtlich wird.

Es ergiebt sich hieraus der Unterschied zwischen absteigenden und aufsteigenden Quellen. Dazwischen liegen zahlreiche Mittelstufen. Zu den absteigenden Quellen sind auch die kalten Ströme zu rechnen, welche aus zerklüftetem Kalkgebirge hervorbrechen. Man hat zuweilen den einen oder andern derselben als die unmittelbare Fortsetzung eines Stromes, welcher in einer Höhlung verschwand, erkennen können. Auch wo Wasser in zerklüfteten Kalkstein eindringt, hat man mitunter sein Wiedererscheinen deutlich nachgewiesen, wie insbesondere in dem Falle der Aachquellen, deren Ursprung aus versunkenem Donauwasser durch Knop festgestellt wurde. Aber häufig hat man die unterirdischen Verbindungen mit zu grosser Sicherheit als bestehend angenommen, so in dem Falle der versinkenden arkadischen und der aus dem Gesteine quellenden argivischen Ströme. Wo, wie hier, die eindringenden Ströme einen periodisch sehr wechselnden Stand haben, die hervorbrechenden dagegen eine gleichmässige Wassermasse führen, wird vielmehr anzunehmen sein, dass der durchaus zerklüftete Kalkstein alles eindringende Wasser aufnimmt, und dass dadurch ein beständiges, ganze Gebirge umfassendes Reservoir gebildet wird, dessen Ueberschuss an verschiedenen Stellen abströmt.

§ 60. Es sollte nie versäumt werden, die Temperatur des Quellwassers zu messen. Man nennt kalte Quellen diejenigen, deren Temperatur der mittlern Jahrestemperatur der Luft an dem betreffenden Orte entspricht oder geringer ist; als warme Quellen bezeichnet man solche, deren Temperatur höher ist. Absteigende Quellen werden in der Regel kalt sein; aber wenn ihr Wasser mächtige Gebirgsmassen durchströmt hat, wo sich die Temperaturzunahme nach dem Erdinnern geltend macht, können sie warm sein. Auf den komplizierten Wegen, welche

das Wasser zwischen gebogenen Schichtmassen zurückzulegen vermag, kann es Tiefenregionen von verschiedenen Wärmegraden durchströmen. Erscheint es an der Oberfläche als warme Quelle, so kommt es mit Wahrscheinlichkeit aus grösserer Tiefe; erreicht es dieselbe als kalte Quelle, so ist dies kein Beweis, dass es sich nur in oberflächlichen Schichten bewegt hat. Es handelt sich hierbei gewöhnlich um Temperaturgrade, welche nur wenig um das Jahresmittel des betreffenden Ortes schwanken. Einen andern Anhalt für die Grenze des Begriffes „warme Quelle" oder Therme hat man in der Temperatur von 30° C. angenommen, da dies ungefähr die obere Grenze der auf der Erde vorkommenden Jahresmittel der Lufttemperatur ist. Doch kann dies nicht als zweckmässig angesehen werden.

Warme und heisse Quellen in vulkanischen Gegenden, welche ihre Temperatur der Berührung mit einer in geringer Tiefe liegenden Wärmequelle verdanken können, sollen später (§ 250) besonders besprochen werden. Wo sie sich in nicht vulkanischen Gegenden finden, kann man sie als natürliche artesische Brunnen betrachten, indem das unter hohem hydrostatischen Drucke befindliche Wasser einer in grosser Tiefe gelegenen Region eine Oeffnung nach der Oberfläche gefunden hat. In dem dadurch hervorgebrachten Systeme kommunizierender Röhren mag ein Schenkel in den Schneeregionen eines benachbarten Hochgebirges liegen. Das hinabsteigende Wasser wird erhitzt und dringt mit Gewalt an die Oberfläche. Aus seiner Temperatur kann man auf die Tiefe schliessen, aus der es kommt. Es ist zu untersuchen, ob die Nachbarschaft von Granit, Porphyr oder anderen Eruptivgesteinen auf die Bildung und Art des Ausgangsweges Licht wirft oder ob, wenn diese fehlen, Verwerfungsspalten nachgewiesen werden können.

Die Bestimmung des Gehaltes des Quellwassers an mineralischen Bestandteilen ist zwar Gegenstand genauer chemischer Analyse im Laboratorium, und nur ausnahmsweise wird eine Quelle hinreichend wichtig erscheinen, um dem Reisenden die Mühe des Transportes einiger mit ihrem Wasser gefüllter Flaschen zu verlohnen. Aber zuweilen lässt sich ein Teil der Bestandteile leicht erkennen, und sie können von Interesse sein, wenn es sich um die Funktionen des in der Erde cirkulierenden Wassers bei Betrachtung grösserer Regionen handelt. Das mit Kohlensäure und Sauerstoff beladene Wasser löst einzelne Gesteine (s. §§ 42, 45, 46), wie Steinsalz, Gips, Kalkstein, Dolomit, und § 61.

zersetzt andere, darunter besonders die feldspathaltigen Felsarten und nimmt die löslichen Zersetzungsprodukte mit sich. Der grösste Teil dieser Bestandteile wird von den Quellen den Flüssen und von diesen dem Meere zugeführt. Aber indem das Wasser einen Teil seiner freien Kohlensäure verliert, setzt es zuweilen schon am Austrittsort der Quelle einige Bestandteile ab, welche nur der Gehalt an dieser Säure ihm in Lösung fortzuführen gestattete. Das ist vor allem der kohlensaure Kalk, welcher oft in mächtigen Massen von Kalktuff abgesetzt und dann gewöhnlich mit kohlensaurer Magnesia und anderen mineralischen Stoffen gemengt ist. Immerhin giebt er nur ein schwaches Bild der ungeheuren Menge fester Bestandteile, welche die Gewässer den Gesteinen in Lösung entziehen. Der Beobachtung bieten sich auch Absätze von Eisenocker, schwarze manganhaltige Inkrustationen und bei heissen Quellen Ueberzüge von Kieselerde dar.

Besondere Aufmerksamkeit ist dem Vorkommen von Salzsole zu schenken. Kommt sie in Quellen vor oder wird sie durch Brunnen erbohrt? In welcher Tiefe erreichen sie diese? In welchem Gesteine setzen die Bohrlöcher an, und wie ist das Liegende derselben nach sonstigen Aufschlüssen beschaffen? Wie lagert die ganze Formation, in welcher die Sole vorkommt? Füllt sie ein Becken aus? Sind es sandige und thonige Schichten? Kommt Gips vor und in welcher Weise? Lassen die Verhältnisse darauf schliessen, dass das Salz aus einem abgeschlossenen Meerwasserbecken niedergeschlagen wurde? Ist das gewonnene Salz rein?

Alle durch Sickerwasser und Quellen aus Boden und Gestein in Lösung entführten Bestandteile werden nach den Flüssen und durch diese in das Meer getragen. Die Methode, wie sich ihre Menge für grössere Landstriche berechnen lässt, wird an einer andern Stelle erwähnt werden.

§ 62. Einfluss der innern Wassercirkulation auf Gebirgsformen. — Es wurden im vorhergehenden einzelne Fälle äusserer Umgestaltung durch die Einwirkung des unterirdisch cirkulierenden Wassers teils ausgeführt, teils beiläufig angedeutet. Es giebt nur wenige Fälle, in denen das letztere eine örtliche Volumenvermehrung, daher ein Anschwellen des Bodens nachweislich zur Folge hat. Dies findet besonders bei der durch die Aufnahme von Wasser sich vollziehenden Umwandlung des Anhydrits in Gips statt, einen Vorgang, dem

wahrscheinlich eine erhebliche Wichtigkeit zukommt, indem dadurch die thonigen Ablagerungen, welche die Salzstöcke begleiten, häufig zu einem dieselben dicht umgebenden Mantel eng zusammengefaltet worden sind. Andere Fälle, in denen eine Volumenvermehrung möglich ist, werden später zu erwähnen sein. Weit allgemeiner nachweisbar sind die auf Substanzentziehung beruhenden Funktionen des Wassers. Am deutlichsten ersichtlich sind sie dort, wo infolge der Lösung (§ 45) Höhlungen gebildet werden, durch welche Ströme ihren Lauf nehmen können, oder wo durch das Nachstürzen des Daches solcher Hohlräume Vertiefungen an der Oberfläche entstehen. Dieselben können vielfach verschiedene Gestalt annehmen. Von grossem Einflusse auf äussere Bodenformen ist wahrscheinlich auch das langsame Nachsinken von Schichtgesteinen, aus denen einzelne Bestandteile durch das cirkulierende Wasser entfernt werden. Der Prozess vollzieht sich zuweilen ruckweise und ist dann mit kleineren Erdbeben verbunden. — Eine andere wichtige Folge, teils der intensiven Durchfeuchtung gewisser Gesteine, teils der Lockerung des Zusammenhaltes durch Stoffentziehung, sind Bergrutschungen und Bergstürze. Sie tragen wirksam zur Umgestaltung der Gebirge bei. Es ist ihnen besonders in regenreichen Gebirgen Beachtung zu widmen und ihre nächste Ursache in jedem einzelnen Falle zu untersuchen.

Sechstes Kapitel.

Beobachtungen über die mechanische Arbeit der fliessenden Gewässer.

§ 63. Das Wasser, welches durch Niederschläge, Schmelzen von Schnee und Eis oder durch Quellen an eine Stelle der Erdoberfläche gekommen ist, dringt zum Teile in den Boden ein (§ 49), zum Teile verdunstet es. Der Ueberschuss, welcher gleich Null sein kann, häufig aber weitaus überwiegend ist, bewegt sich auf der Erdoberfläche fort, wo immer sich ihm die Möglichkeit bietet, dem Gesetze der Schwere gemäss von einem höhern nach einem niedern Orte zu gelangen. Die Wege sind in erster Linie durch die Konfiguration des Festen gegeben. Ist an einer Stelle der Ausweg durch eine Bodenerhöhung versperrt, so sammelt sich das Wasser zu einem See und setzt, wenn es nicht durch starke Verdunstung beständig in einem zu geringen Niveau gehalten wird, über den niedersten Teil der Umrandung seinen Lauf fort. Flüsse entstehen aus der Vereinigung verschiedener grösserer und kleinerer Rinnsale. Sie erreichen ihr Ende im Meere oder in einem abflusslosen See oder durch Versiegen in gelockertem Boden. Der Reisende hat dort, wo genaue Karten noch nicht vorhanden sind, die Aufgabe, die Linien der Flussläufe und ihrer Verzweigungen graphisch niederzulegen. Ausserdem bietet sich ihm überall, auch in den bekanntesten Ländern, Gelegenheit zu Beobachtungen über die Gestalt der Flussbetten, sowie der Hohlformen, in deren Boden diese gelegen sind. Man sollte sich daran gewöhnen, dieselben als das Produkt mechanischer Vorgänge zu betrachten, unter denen die Arbeit des fliessenden Wassers eine hervorragende, mitunter die einzige Rolle spielt; denn das Verständnis eines Flusses und der von ihm durch-

strömten Thäler kann nur durch das Erfassen seiner Entwicklungsgeschichte gewonnen werden. Einfachen Gesetzen unterliegt die Arbeit des strömenden Wassers; aber die Wirkungen gestalten sich verschieden, je nach dem Zusammentreffen einer Reihe von Umständen, welche teils in dem Betrage der Kraft und der Art ihres Ansatzes und ihrer Verteilung, teils in den Widerständen des Mediums und den in demselben sich vollziehenden Formänderungen beruhen.

Allgemeine Gesetze. — Jedes Teilchen eines nach dem Oceane fliessenden Gewässers besitzt durch seine Lage über dem Meeresniveau eine potentielle Kraft, welcher theoretisch die Arbeit, die das Teilchen durch den freien Fall bis zur Meeresfläche leisten könnte, äquivalent ist. Diese Kraft stellt andererseits die Arbeit dar, welche die Sonnenstrahlen durch den Transport des Teilchens vom Oceane nach jeder Höhe über demselben geleistet haben. Das Wasser fällt nicht frei zum Meere, sondern fliesst auf einer geneigten Fläche nach demselben hinab. Wäre keine Reibung zu überwinden, so würde es im Durchschnitte mit stetig steigender Geschwindigkeit in seinem Bette hinabgleiten. Allein durch fortdauernde innere und äussere Reibung und gleichzeitige Verrichtung äusserer Arbeit wird die Geschwindigkeit in Grenzen gehalten, welche überdies infolge des verschiedenen Gefälles örtlich wechseln. Stürzt das Wasser über eine freie Wand, so kommt für diese Strecke das Gesetz des freien Falles zur Geltung; die ganze Arbeit wird am Fusse des Sturzes verrichtet. Erreicht es denselben Vertikalabstand auf langem Wege, so wird die Arbeit auf diesen verteilt. An jeder einzelnen Stelle besitzt das bewegte reine Wasser eine mechanische Kraft, welche dem Produkte seiner Masse und des Quadrates seiner Geschwindigkeit entspricht. Ist der Widerstand eines im Wege befindlichen Körpers geringer als der seinem Querschnitte entsprechende Teil jener Kraft, so wird er fortbewegt, so weit, bis er entweder gegen eine feste widerstehende Masse zu liegen kommt und dadurch seine Bewegung verliert, oder bis er an eine Stelle des Stromes gelangt, wo das Wasser infolge der Verminderung seines Gefälles, daher auch seiner Geschwindigkeit, geringere mechanische Kraft hat und der durch das Gewicht des Körpers geleistete Widerstand ihm zu gross wird. Dann bleibt jener liegen. Wird die Bewegung gleich Null, so sinken alle mitgeführten Stoffe, jedoch mit ungleicher Geschwindigkeit, zu Boden.

Ausser dieser rein mechanischen Arbeit übt das Wasser auch noch eine erweichende und eine lösende Wirkung aus und vermindert dadurch die Widerstände, welche ihm die Teilchen der Gesteine entgegensetzen, sodass es dieselben leichter losreissen kann. Es wird darin durch die atmosphärische Einwirkung, den Frost und die Vegetation unterstützt.

Sowie das bewegte Wasser einzelne feste Teilchen in sich aufgenommen hat, wird zwar seine Kraft durch den Betrag der nun auf den Transport derselben zu leistenden Arbeit vermindert; aber doch werden gewisse Arten seiner Wirkung intensiver, einmal, weil die lebendige Kraft der festen Mineralteilchen wegen ihrer grössern Masse diejenige gleicher Volumina des Wassers bei gleich schneller Bewegung übersteigt; sodann deshalb, weil der Stoss eines vom Wasser getragenen festen Körpers auf einen Punkt oder einen kleinen Raum konzentriert werden kann, wie man an einem treibenden Balken ersieht, welcher trotz seiner geringern Masse einen weit grössern mechanischen Effekt beim Anpralle ergiebt als das gleiche Volumen Wasser; denn es kommt dabei die lebendige Kraft der ganzen Masse des Balkens zur Geltung, während die Wasserteilchen sich verschieben und viel Kraft in innerer Reibung verbrauchen. Dieselbe Wahrnehmung macht man bei schwimmenden Eisschollen oder an einem fortbewegten Kiesel, welcher einen andern, gegen den er stösst, fortschiebt, während das Wasser allein denselben nicht bewältigen würde. Aus dem gleichen Grunde wirken feste Körper durch ihre Härte und je nach dem Grade derselben mehr oder weniger reibend und schleifend. Diese Wirkung kann das reine Wasser gar nicht oder doch nur in äusserst minimalem Grade ausüben. Die festen Körperchen, insbesondere die Sandkörner, sind in die glatte, den Fels bespülende Fläche des Wassers gleichsam eingeknetet, und das Wasser übt dadurch die Wirkung einer Feile. Die Arbeit ist auch derjenigen des Sandstrahlgebläses oder der äolischen Korrosion (§ 194) zu vergleichen.

Die mechanische Arbeit lässt sich somit in vier Faktoren zerlegen. Sie sind:

1) Die Loslösung oder Ablation gelockerter fester Stoffe durch die Kraft des fliessenden Wassers allein; sie äussert sich ebenso, wenn starker Regen auf geneigtes Ackerland fällt und das mit erdigen Teilen beladene Wasser sich in Rinnsalen sammelt, wie bei

angeschwellten Wildbächen, welche Felsblöcke fortreissen.

2) Der Transport der mechanisch suspendierten festen Stoffe.

3) Die Reibung der suspendierten Teile gegen die Wände des Kanals. Man bezeichnet sie als Korrosion. Es wird dadurch neues Material dem Flusse zum Transporte überliefert.

4) Die Ablagerung alles festen Materials.

Durch diese verschiedenen, aber in jedem Falle miteinander verbundenen Arten der Thätigkeit wird das fliessende Wasser zu einem der mächtigsten Faktoren in der Umgestaltung der Erdoberfläche. Man fasst den ersten und dritten Faktor auch als „Erosion" zusammen und bezeichnet damit die Gesamtheit derjenigen Thätigkeit des Wassers, welche in der Entführung festen Materials von höher gelegenen Orten gegen tiefere hin und der dadurch sich vollziehenden Vertiefung, Ausfurchung und Erweiterung der von ihm eingenommenen Kanäle besteht.

A. Normale Ausbildungsformen der Abflussrinnen.

§ 64. Die gestaltenden Wirkungen des fliessenden Wassers lassen sich leicht an lockerm, homogenem, gleichförmig abfallendem Boden, über welchen ein gleichmässiger Niederschlag stattfindet, erkennen, wie z. B. an den feinkörnigen Auswürflingen, welche den untersten Teil des Mantels eines vulkanischen Aschenkegels bilden, an den Wänden von Eisenbahneinschnitten in sandigem Lehme oder an frisch aufgeworfenen, nicht zu steil abgeböschten Dämmen. Jedes Rinnsal, in dem das Wasser sich unter den angegebenen einfachen Verhältnissen sammelt und zerstörend hinabfliesst, bildet sich zu einem normalen, stets die gleiche Grundform anstrebenden Erosionsschema aus, und ebenso lässt sich eine normale Anordnung der Erosionskanäle erkennen, welche jedoch, je nach dem Neigungswinkel des Gehänges, der geradlinigen oder konvex oder konkav gebogenen Form der Linie, in welcher eine Horizontalebene das Gehänge schneidet, und je nach dem feinern oder gröbern Korne des Erdreiches, manche unter gleichen Umständen ebenfalls wiederkehrende Besonderheit besitzt. Ueberall bietet sich Gelegenheit, diese elementare Ausbildung zu beobachten; doch ist dies noch keineswegs mit erwünschter Vollständigkeit geschehen. Wer die Er-

scheinungen der Erosion überhaupt zum Gegenstande des Studiums machen will, thut am besten, sich erst mit diesen Vorgängen unter den einfachsten Verhältnissen bekannt zu machen. Denn es sei gleich bemerkt, dass die unendliche Mannigfaltigkeit der Erosionsformen, welche wir in Gebirgsthälern und in der Natur allenthalben beobachten, im wesentlichen solche Abweichungen von dem Normalschema und der normalen Anordnung sind, welche durch eine Reihe von modifizierend eintretenden Umständen hervorgebracht werden.

§ 65. Ursprüngliche Anordnung der Wasserrinnsale in der Horizontalprojektion. — Auf einer gleichförmigen schiefen Ebene, im feinerdigsten und homogensten Materiale, würde das in unendlich feiner Verteilung auffallende Wasser in dicht beieinander liegenden parallelen, nach unten sich vertiefenden Rinnen abfliessen. Auf einem Kegelmantel würde es in radialen Linien ablaufen, und je weiter hinab, desto mehr Linien würden sich einschieben. Die von der Spitze herabkommenden würden tiefer geschnitten sein als diejenigen, in welchen das Wasser nur einen Teil desselben Weges zurückgelegt hätte. Ist hingegen die gleichförmig abfallende Fläche trichterförmig oder amphitheatralisch gestaltet, so konvergieren sämtliche Rinnen gegen einen Punkt.

Jede Abweichung von völliger Gleichmässigkeit, wie der Fall des Wassers in starken Regentropfen, örtliche Wechsel in der Menge des Niederschlages oder das Vorkommen grober Körner in dem sonst homogenen Materiale, veranlasst eine Differenzierung der Verteilung, indem einzelne Kanäle seitlich abgelenkt werden und sich mit anderen vereinigen. Je zahlreicher und stärker diese ablenkenden Einwirkungen und je geringer die Kraft des Wassers zu ihrer Ueberwindung, desto mehr werden die Kanälchen zu einzelnen Hauptrinnen zusammentreten. Am Ebbestrande, wo Muscheln und Tange zerstreut im Sande liegen, kann man dies leicht beobachten. Denkt man sich einen solchen Ebbestrand dauernd aus dem Meere gehoben und durch gleichmässigen Regen häufig benetzt, so werden sich die Abflusssysteme schärfer ausbilden. Die Menge des auf der ganzen Fläche herabrinnenden Wassers nimmt in geradem Verhältnisse zu der Entfernung von dem obern Rande gegen den untern zu. Denken wir uns nun die Böschung vollkommen gleichmässig und die Abweichungen von der homogenen Beschaffenheit des Materiales, etwa in Gestalt kleiner Muschelschalen, ganz

gleichmässig verteilt, so wird am obersten Rande das herabrinnende Wasser sehr geringe Kraft zur Ueberwindung der von denselben gebotenen Widerstände haben, daher vielfach abgelenkt werden. Die abgelenkten Kanälchen vereinigen sich gruppenweise zu etwas grösseren Rinnen. Jede von diesen führt die Gesamtmasse des Wassers der Kanälchen, aus denen sie entstand. Ist dieselbe nun hinreichend, um die (gleichmässig gedachten) Hindernisse zu überwinden, so werden die Rinnen wieder parallel hinabziehen. In welchem Abstande dieselben sich voneinander befinden, wird von der Menge des auffallenden Wassers, dem Neigungswinkel der schiefen Ebene und der Grösse des durch die Hindernisse gebotenen Widerstandes abhängen. In dem oberen Teile des zwischen je zwei Abzugsrinnen befindlichen Raumes bilden sich neue Sammelkanälchen; sie vereinigen sich zu Abzugsrinnen einer zweiten Ordnung, welche, da sie weiter hinab auf der schiefen Ebene ihren Anfang nehmen, an jedem Punkte weniger Wasser führen als die Abzugskanäle erster Ordnung an den derselben Isohypse entsprechenden Punkten. Noch geringere Wassermenge und geringere Länge werden die Abzugsrinnen einer dritten, wieder etwas weiter abwärts eingeschobenen Ordnung haben.

Dieses in Fig. 24 dargestellte einfache Schema ist der Grundtypus allen Wasserabflusses. Stets ist ein Sammelgebiet vorhanden, dessen Gewässer sich in einer Abzugsrinne vereinigen. Je grösser in der Natur die Gleichmässigkeit von Böschung

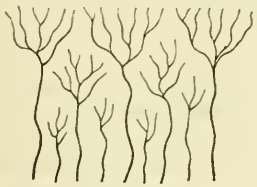

Fig. 24.

Fig. 25.

und Material, desto mehr nähert sich das natürliche Verhältnis in der ursprünglichen Anlage der Theorie; je ungleichmässiger die Neigungswinkel, je wechselnder die Bodenarten nach ihrer Beschaffenheit und je verschiedenartiger die Hindernisse sind, desto grösser sind die Abweichungen. Wenn auf dem gedachten

Ebbestrande noch einzelne grössere, ebenfalls gleichmässig verteilte Hindernisse hinzukommen, so werden die Kanäle zweiter und dritter Ordnung nach denen erster Grösse abgelenkt werden oder umgekehrt; aber wenn auch damit das System jedes Kanals komplizierter wird, so wird doch jedes Teilrinnsal die ursprüngliche Zusammensetzung aus einem Sammelbecken und einer einfachen Rinne bewahren, wie dies, ebenfalls rein schematisch, in Fig. 25 zur Anschauung gebracht ist. Je weiter wir uns die schiefe Ebene in der Richtung des Fliessens verlängert denken und je grössere Hindernisse wir den einzelnen Strömen entgegensetzen, desto mehr wird die Vereinigung zu grösseren Hauptströmen erfolgen; aber in jedem Raume zwischen je zwei Rinnen wird sich immer wieder ein entsprechendes Abflussschema in vielfacher Wiederholung ausbilden.

§ 66. Plastische Ausgestaltung der Rinnsale. — Wenn *m n* (Fig. 26) die Vertikalprojektion eines der ursprünglichen Wasserläufe auf der schiefen Abfallsebene über homogenem Materiale, *m a* die Strecke des Sammelbeckens, *b* der Einmündungspunkt von zwei grösseren Zuströmungskanälen und *n o* eine dem Abfalle vorgelagerte sanftgeneigte Thalfläche darstellt, in welch letzterer ein grösserer Fluss bei *o* seinen Lauf nimmt, so rinnt in *m a* die geringste, in *a b* eine grössere, in *b n o* die

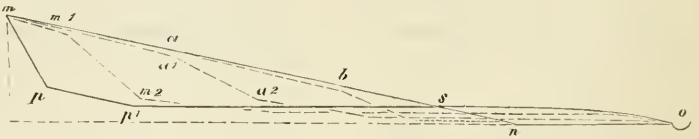

Fig. 26.

grösste Wassermenge, und in entsprechendem Masse ist die Kraft bis *n* verteilt, solange das Gefälle gleichmässig bleibt. Infolgedessen bildet sich ein nur wenig eingeschnittener, aber doch von oben nach unten an Breite und Tiefe zunehmender Kanal. Das fliessende Wasser ist nun bestrebt, den gesamten Kanal zu einer senkrecht mit gleichmässiger Breite niedergehenden Furche zu vertiefen und an der Herbeiführung dieser Gestalt soweit zu arbeiten, als seine Kraft ausreicht. Zunächst kann diese Kraft an keinem Punkte oberhalb *n* einen wirksamen Ansatz ausführen. Von diesem Punkte beginnt daher die Arbeit der Austiefung, und von ihm schreitet sie nach rückwärts fort. An einem beliebigen Punkte (x) — Fig. 26 a — kann man sich die

Arbeit in successive Stadien zerlegt denken. Ist dort eine geringe Austiefung geschehen, so kann die gleichartige Arbeit in sich verringerndem Grade nach rückwärts ausgeführt werden, ebenso in jedem weitren Stadium der bei x sich vollziehenden Austiefung. Es bildet sich die Rinne $b\,x'\,n'$. Sowie die erste Arbeit des Ausräumens von Material bei n einsetzt, beginnt dasselbe in Front von n wegen der plötzlich verminderten Tragkraft zu Boden zu sinken; erst fällt das gröbere nieder, weiterhin das feinere; es bildet sich ein Dejektionskegel (§ 83). Der Boden bei n wird also erhöht, mithin das Wasser hier gestaut und der Ausflusspunkt nach n' verlegt, während gleichzeitig in einer rückwärts gelegenen Strecke infolge des Eingrabens das Gefälle und damit die Kraft des Flusses vermehrt worden ist. Es findet eine Zerlegung der ursprünglich gleichmässig verteilten Kraft in eine Strecke der Steigerung und eine solche der Verminderung statt. Die gröberen Sedimente

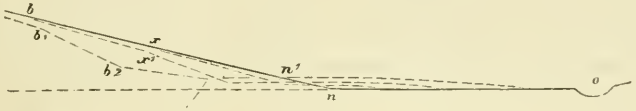

Fig. 26 a.

beginnen nun schon niederzufallen, ehe sie n' erreichen, während der Dejektionskegel noch immer bei n' erhöht, vor allem aber durch Ablagerung des feineren Materials peripherisch erweitert wird. Sowie das erste Stadium der Vertiefung des Bettes bis b hinaufgerückt ist, schreitet dieser Vorgang von b gegen a (Fig. 26) hin fort, aber mit einer dem Verhältnisse der Wassermasse entsprechenden geringern Intensität. Gleichzeitig schreitet noch von n aus der Punkt, in welchem die Ablagerungsstrecke und die Strecke vermehrten Gefälles sich berühren, zurück, und er kommt allmählich bei b^3 an. Der Wasserlauf zerfällt nun in mehrere Teile; sie sind: 1) ein ganz oberflächlicher Kanal $m\,a$, welcher einer aus der grössern Zahl von Sammelkanälen ist; 2) ein sich allmählich vertiefender Kanal $a\,b^1$, in welchem schwache Erosion stattfindet; 3) eine Strecke steilen Gefälles $b^1\,b^2$, in welcher die Erosion am stärksten ist; dann folgt in der Regel 4) ein zwischen hohen Thalwänden gelegener Teil, $b^2\,b^3$, in welchem weder Erosion noch Ablagerung stattfindet; 5) eine gegen den Ausgang des Thales gelegene Strecke,

in welcher die gröberen Sedimente liegen bleiben; 6) der Dejektionskegel $n^1 o$ ausserhalb des Berglaufes. Der letztere fehlt selbstverständlich, wenn ein Strom am Fusse des Gehänges hinfliesst und Kraft genug hat, die empfangenen festen Stoffe fortzutransportieren.

Es ist klar, wie der Schauplatz der grössten Kraftentfaltung allmählich von $b^1 b^2$ nach $a^1 a^2$ und über dieses hinaus in das Sammelbecken $m m^1$ hinein zurückschreitet und gleichzeitig die verschiedenen, oben bezeichneten Strecken nach derselben Richtung hin verlegt oder ausgedehnt werden. Die Neigungswinkel der Sohlen werden in den oberen Teilen steiler, in den unteren flacher, und die Höhe der steilen Strecke nimmt zu. Damit kommt die Zerlegung des ursprünglichen Wasserlaufes in eine Strecke intensiver Arbeitsleistung und eine solche gänzlicher Unfähigkeit, den Boden tiefer auszunagen, vollkommen zur Geltung. Zwischen beiden ist eine neutrale Strecke, welche zuweilen sehr kurz ist, zuweilen aber eine beträchtliche Länge erreicht. Durch sie wird das aus dem Sammelbecken losgelöste Material hindurchtransportiert. Schreitet die Erosion noch weiter zurück, so bekommt die Thalsohle die Gestalt $m p p^1 s$, während $s o$ den äussern Dejektionskegel bezeichnet.

In Wirklichkeit hat die Linie des Endprofils nicht eine winklige Gestalt, sondern diejenige einer Kurve. Sie bezeichnet die Grenzen der mechanischen Wirkung, welche das Gewässer bei gegebenem Masse allmählicher Zunahme der Wassermasse von oben nach unten und bei gegebenem Materiale zu leisten vermag. Ist sie hergestellt, so findet weder Erosion noch Ablagerung weiterhin statt. Ihre Gestalt ändert sich mit dem Materiale und mit der ursprünglichen Wassermasse und kann wegen der letztern Abhängigkeit auch in demselben Flussbette Aenderungen im Laufe der Zeit erleiden. Wie immer die Verhältnisse beschaffen und wie die Gehänge gestaltet sein mögen, der Fluss strebt stets die durch die Gesamtsumme der Bedingungen geforderte Kurve, bei welcher seine Thätigkeit in vertikaler Richtung erlischt, herzustellen.

Die vertikale Erosion ist nur auf die Bildung einer Furche in der Breite der Wassersohle gerichtet. Diese klammartige Gestalt der Rinnen wird indessen nur in Ausnahmefällen streckenweise erreicht; denn die von atmosphärischen Agentien und Rieselwasser angegriffenen Ränder stürzen nach und streben

demjenigen Teile, in welchem der Fluss sein Bett tiefer legt, im Querdurchschnitte die Gestalt eines \/ zu geben. In dem Bereiche der Ablagerung hingegen übt das fliessende Wasser eine seitlich erodierende und unterwaschende Arbeit aus; der Querschnitt nimmt diese Gestalt __/ an. Im obern Teile endlich gestaltet sich das Sammelbecken zu der Form eines halben und zuweilen mehr als halb umschlossenen Trichters. In einem gewissen, durch die Linie $m\ m^1\ m^2$ bezeichneten Stadium fliessen die Quellbäche auf sanftgeneigtem Boden in konvergierenden Radien herab, ehe sie die amphitheatralischen Wände des Trichters (bei m^1) erreichen, deren steiles Einfallen bald allmählich, bald plötzlich einsetzt. Die Wassermasse jedes einzelnen ist gering, aber infolge des starken Gefälles lösen sie feste Teile ab und führen sie in die bei m^2 beginnende Rinne, wo sie sich zu einem kräftigen Strome von geringerem Gefälle, aber erheblich grösserer Wassermasse sammeln. Hier wirken Loslösung und Korrosion zusammen, um die Rinne noch weiter zu vertiefen.

Ist auch dieses Grundschema bei Bodenstufen aus lockerm Erdreiche am einfachsten und reinsten ausgebildet, so findet es sich doch überall, wenn auch in den allerverschiedensten Stadien der Entwicklung; an jedem Bergabhange beobachtet man das Rückschreiten der Erosion nach den Sammelbecken hin, die Vertiefung der Rinnen, die Bildung der Trichter, das Erhöhen und Vorschieben der Ablagerungen in den Dejektionsgebieten. In jede grössere Erosionsrinne münden kleinere von den Seiten her, und diese nehmen solche einer dritten Ordnung auf. In jeder Rinne, gleichviel von welcher Ordnung und Grösse sie sei, waltet das Streben nach der Ausbildung derselben Grundform. Beispiele normalster Gestaltung in grossem Massstabe findet man in vulkanischem Tufflande, wo das Wasser die erodierende Arbeit leicht ausführt und verhältnismässig schnell die durch die Linie $m\ p\ p^1\ o$ dargestellte Form schafft. Steilwandige, ringförmige Sammelbecken entleeren sich durch enge Abflussrinnen; durch diese ist das gesamte Gesteinsmaterial, welches einst die Hohlform ausfüllte, entführt worden. Einfache Beispiele anderer Art bieten sich in den Randgebieten von Tafelländern, welche steil gegen tieferes Land abstürzen. Hier sieht man besonders den mit $m\ a^1$ (Fig. 26) bezeichneten Teil weite Räume einnehmen. Die Bäche schleichen radial gegeneinander. Folgt man ihnen, so erreicht man bei jedem

eine Stelle (a^1), wo er in die in das Gestein eingerissene Furche in Katarakten hinabstürzt. Der in der Gegend von a^2 aus den verschiedenen Zuflüssen sich vereinigende Bach hat geringeres Gefälle, aber braust noch in Stromschnellen nach grösserer Tiefe. Gewöhnlich erreichte er die Region der Ablagerung schon weit vor dem Austritte aus der Enge. Das grobe Material bleibt dort liegen. Aber erst wenn er am Aussenrande des Tafellandes anlangt, vermag er den Dejektionskegel fächerförmig auszubreiten.

§ 67. Tendenzen der weitern Ausbildung der Erosionsfurchen. — Bisher handelte es sich um die Vertiefung eines bestehenden Abflusskanals. Es zeigte sich, dass die Erosion, wenn ihr genügende Wassermasse zu Gebote steht, das Bestreben hat, ihre Arbeit bis zu den äussersten mechanisch möglichen Grenzen auszuführen, und zwar einerseits in der Richtung nach rückwärts, andererseits, unter besonderen Umständen, seitwärts. Beide Tendenzen sind von eingreifender Bedeutung für die Ausgestaltung der Gebirge, insbesondere wenn mehrere Erosionsrinnen nebeneinander angeordnet sind und jede ihr Gebiet zu erweitern sucht. Dabei wird die Horizontalanordnung (§ 65) wesentlich sein; denn der Effekt ist verschieden, je nachdem mehrere Thäler parallel auf einer schiefen Ebene herabkommen oder dachförmig auseinanderstreben oder sich radial von einem Gebirgsvorsprunge herabziehen oder gegen ein gemeinsames Becken gerichtet sind.

Das Fortarbeiten nach rückwärts in dem Sammeltrichter beruht einerseits auf der Steilheit seiner Wände, ferner auf dem Umstande, dass an seinem untern Ende verhältnismässig am meisten Wasser an einem Punkte zusammenströmt, endlich darauf, dass die Vertiefung der Erosionsrinne gegen diesen Punkt hin fortschreitet und ihn tiefer zu legen sucht. Das Verhältnis des Sammelpunktes ist in ganz schematischer Weise in Fig. 27 dargestellt. Von der Umrandung des Trichters *c d e* stürzen eine Menge von Wasseradern konvergierend hinab und treten zu einer sich stetig verringernden Zahl scharf gesonderter Rinnen zusammen. Im Sturze lösen sie Schuttmassen los und tragen sie gemeinsam nach *a*, wo die grössten Blöcke sich ansammeln, bis ein starker Wasserandrang sie zum Teil weiterführt. In der Wirklichkeit ist *a* nicht ein Punkt, sondern

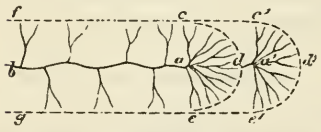

Fig. 27.

eine kurze oberste Stromstrecke, nach der die Einzelrinnen hinabkommen, jede von ihnen mit einer Umbiegung in der Richtung nach abwärts. Die Stromstrecke des Trichterbodens sollte eine Rinne mit steilem Gefälle sein. Durch die Anhäufung grober Blöcke oder durch die Absperrung mittelst eines Riegels von hartem Gesteine kann sie in einen abschüssigen bis beinahe ebenen Thalboden umgewandelt werden. Die Trichterwände haben verschiedene Gestalt. Das herabstürzende Wasser strebt sie unten steiler zu machen als oben. Aber wo sie aus Material bestehen, welches, wie lockere Tuffe oder wie die zerklüfteten Bündtener Schiefer der Ostschweiz, nachgiebig und für das Eindringen von Wasser sehr zugänglich ist, kommt dieses an verschiedenen Stellen der Wände in Gestalt von Quellen hervor und verursacht ein Abstürzen der oberen Teile, daher auch eine scharfrandige Abgrenzung derselben gegen die Flächen der Berggehänge, in welche die Trichter eingesenkt sind. Ueberhaupt sind die Trichterwände ein Schauplatz intensiver Zerstörung durch verschiedene Agentien. Wo Spaltenfrost (§ 41) thätig ist, findet er hier besonders leichte Gelegenheit dazu.

Das Zurückweichen der Wände wird befördert, wenn der Trichterboden infolge rückschreitender Vertiefung der Erosionsrinne selbst tiefer ausgenagt wird; und zwar geschieht das stärkste Zurückweichen in der Richtung gegen die Hinterwand, nach $a\,a^1$. Ist die Umrandung nach $c^1\,d^1\,e^1$ gekommen, so nimmt (Fig. 27) wiederum a^1 die verhältnismässig grösste Wassermasse auf, nämlich von dem ganzen Halbkreisbogen, während jeder Kanal, der zwischen a und a^1 mündet, nur einen kleinen Teil des Aussenrandes entwässert, daher in der Kraft der rückschreitenden Erosion gegen den Boden des Sammeltrichters, der sich in der Richtung $a^1\,d^1$ zu verlängern strebt, zurücksteht. Wie vorher in der Strecke $a\,b$, so wird jetzt in $a^1\,a$ eine Hauptwirkung darin bestehen, dass die Seitenbäche sich gleichzeitig mit dem Hauptkanale zu immer grösserer Tiefe eingraben und zwischen je zweien derselben immer schärfer sich zeichnende Zwischenrippen stehen bleiben. Das Rückschreiten der einzelnen Trichter, vor allem des Haupttrichters, geschieht aus dem angeführten Grunde in der Regel geradlinig; es kann aber auch durch hartes Gestein eine seitliche Ablenkung oder eine Gabelung entstehen. Es kann auch geschehen, dass der Haupttrichter in sehr festem Gesteine, zwei einander gegenüberliegende Nebentrichter in sehr weichem und brüchigem liegen;

dann können diese so schnell fortschreiten, dass jener zu einer sekundären Rolle herabsinkt.

Wenn die Rückwände der Sammeltrichter von zwei von einer Wasserscheide nach entgegengesetzten Richtungen fliessenden Bächen aneinanderstossen, so bildet sich zwischen ihnen ein Grat, welcher scharfkantig oder abgerundet sein kann. Die Ausbildung solcher Grate ist die Tendenz an allen Wasserscheiden. Je grösser das Gefälle, je stärker die Wasserzufuhr durch Regen und je länger bei gleich hartem Gesteine die Zeit, während welcher die Erosion rückwärts vorgeschritten ist, desto mehr werden scharfe Grate den Charakter eines Gebirges bestimmen. In jedem der zwei gegenüberliegenden Sammeltrichter waltet das Bestreben, den Grat für sich zu erobern. Die Bedingungen dazu können ungleich sein. Ein geeignetes Beobachtungsobjekt für diesen Vorgang haben die mächtig gelagerten losen Aufschüttungsmassen der *Bad lands* an den westlichen Zuflüssen des Missouri gegeben. Die normalen Verhältnisse zeigen sich hier in einfacher Gestalt. Es bilden sich, nach den vorzüglichen Beobachtungen von G. K. Gilbert, Abflusssysteme von vorstehender Form (Fig. 28), wobei die geraden Linien wasserscheidende Grate bezeichnen.

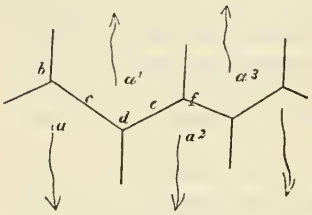

Fig. 28.

Die Hauptwasserscheide verläuft im Zickzack, indem sie sich jedem sekundären Rücken in winkliger Ausbiegung zuwendet. Jeder Vereinigungspunkt derselben ist durch grössere Höhe ausgezeichnet; zwischen je zweien ist eine sattelförmige Vertiefung. Dies erklärt sich durch die Art, wie die rückwärtige Verlängerung der Sammelbecken von den Punkten a, a^1, a^2 u. s. w. stattfindet. Denn indem die Entfernungen ac, a^1c, a^1e, a^2e kürzer sind als ab, ad, a^1d, a^1f, findet bei c und e die Erniedrigung früher statt und ist daher stärker als in b, d, f.

Haben a, a^1, a^2, a^3 gleiche Höhe und die betreffenden Bäche gleiches Gefälle, so wird die Erniedrigung des wasserscheidenden Rückens bis zu einem gewissen Grade fortschreiten; es wird aber an der Stelle desselben stets eine trennende Anschwellung bleiben, weil nach Ausbildung der beiderseitigen

Normalkurven eine weitere Erosion nicht stattfinden kann. Liegt jedoch, wie es in Fig. 29 angenommen ist, a beträchtlich tiefer als a^1, so wird dort die Erosion im Sammelbecken stärker, die Geschwindigkeit des Rücksehreitens grösser sein. Die Wasserscheide wird daher von a gegen a^1 hin vorrücken. Liegt a, wenn es bei a^1 angekommen ist, immer noch beträchtlich tiefer als dieser Punkt, so schreitet die Wasserscheide weiter in derselben Richtung fort. Es kann dann der Fall eintreten, dass der Punkt a bis nach m gelangt, wo der Bach von a^1 in einen Fluss mündet, der in höherm Niveau fliesst als das ganze System, welchem a ursprünglich angehört. Die neue Wasserscheide wird nun um m herumziehen. Das gesamte Flussgebiet $o\,p\,m$ wird für dasjenige von a annektiert sein, und der Fluss, welcher vorher von o und p über n floss, nunmehr bei n seinen Anfang nehmen. Der Fluss $o\,n$ kann dem erobernden Strome die Arbeit erleichtern, wenn er, z. B. mit Glacialschotter (s. § 106), sein Bett bis über die noch bestehende Wasserscheide gegen a hinaus erhöht, dadurch nach diesem abfliesst und sich nun in der neuen Richtung in die Gesteine der Wasserscheide und die Schotter tiefer eingräbt. In diesem Falle würde man bei n die Schotteraufdämmung erkennen müssen.

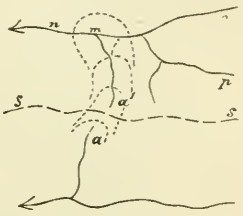

Fig. 29.

Das Eingreifen der seitlichen Erosion in die Ausgestaltung der Flussthäler findet überall statt, wo die Kraft der Strömung an beiden Seiten des Kanals ungleich verteilt ist. Dies ist an jeder Stelle der Fall, wo dieser von der geraden Linie abgelenkt wird. Es bilden sich Kurven im Stromlaufe. Die Strömung ist in der Nähe des konvexen Ufers am schnellsten und unterliegt an diesem selbst einer fortdauernden Brechung. Die Thätigkeit ist auf Loslösung und Korrosion gerichtet. An der konkaven Seite ist die Strömung langsamer; sie kann stillgestellt und durch wirbelnde Bewegung rückläufig werden, daher findet hier häufig Ablagerung statt. Die mechanische Arbeit an Stromkurven ist am grössten bei Wildbächen; aber ehe bei ihnen die Korrosion eine bedeutende Aushöhlung der Felswand vollführt hat, ist der Kanal schon tiefer eingegraben; auch in der Längsrichtung wechseln die Stellen des Angriffes sehr häufig. Denn wenn, wie in Fig. 30, der Strom gegen einen vorspringenden

Fels stösst, so wird er an jeder Stelle der äussern Kurve reflektiert; es entsteht eine wirbelnde Bewegung, welche durch Korrosion ein rundes Becken im Boden aushöhlen kann. Der Fluss verlegt seine rechte Einfassungswand seitlich und vorwärts, und nach denselben Richtungen schreitet die Beckenbildung fort.

Fig. 30.

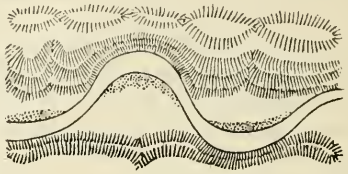

Fig. 31.

Zu ungleich grösseren Beträgen summiert sich der mechanische Effekt der seitlichen Erosion, wenn sie durch lange Zeit an derselben Stelle stattfinden kann. Dies ist dort der Fall, wo innerhalb des Gebirgslaufes der Fluss ablagert (wie in der Strecke $p^2 s$, Fig. 26). Die Ablagerungen selbst zwingen ihn zum Einschlagen von Kurven, in denen er bald die eine, bald die andere Thalwand berührt. Hier kann er in gleichbleibendem Niveau manchmal durch lange Zeiträume seine Zerstörungsarbeit an derselben Stelle einer Thalwand ausführen und sein Bett in diese hinein verlegen, wie in Fig. 31.

Die Bedingungen zur Zerstörung sind in um so stärkerm Masse gegeben, je tiefer der Bogen in das feste Material des Rückens eingreift, der ihn von einem Nachbarthale trennt; denn nicht nur konzentriert sich die erodierende Thätigkeit des Flusses selbst in steigendem Masse an der Linie, mit welcher er am tiefsten in die Thalwand einschneidet; sondern es bildet sich an dieser durch die Unterwaschung ein steileres Gefälle der an ihr hinabströmenden Gewässer, und zugleich konvergieren diese, in ähnlicher Weise wie in einem Sammeltrichter, von einem grössern Bogen gegen einen kleinern. Es kann schliesslich der ganze Rücken durchnagt und der obere Teil des angrenzenden Flussthales, falls der Berührungspunkt höher liegt oder dort Schotterauffüllung stattfindet, in das erste Flussgebiet hineingezogen werden.

Diese in der Erosion allein begründeten Vorgänge, welche sich als der Kampf um die Wasserscheide bezeichnen lassen,

gehören zu den häufigen Ursachen der grossen Veränderungen, die sich in der Geschichte der Ströme vollziehen. Dem einen wird ein Teil seines Beckens entrissen, und die Gewässer des letztern schwellen hinfort einen andern Fluss, dessen mechanische Arbeit sie verstärken. Dem Reisenden bietet sich Gelegenheit, derartige Episoden in der Entwicklung der Ströme im kleinsten und im grössten Massstabe und unter dem Einflusse der verschiedensten Klimate zu studieren. Er sieht Bergländer, wo der Prozess der Ausbildung der Erosionsfurchen noch in wenig entwickeltem, und andere, wo er in weit vorgeschrittenem Stadium sich befindet. Im erstern Falle wird sich die Thatsache des Rückschreitens der Erosion leicht aus der Beobachtung der Oberflächenformen ergeben; im zweiten Falle die Geschichte des Kampfes der einzelnen Gewässer um die Wasserscheide und die von dem einen oder dem andern errungenen Erfolge klarzustellen, wie es z. B. Albert Heim mit grossem Scharfblicke in vielen Fällen in der Schweiz gethan hat, setzt grössere Uebung und Kombinationsgabe voraus. Es gilt hierbei, verlassene Wasserläufe aufzufinden, oder zu entdecken, wo ein Thal, das jetzt von einem kleinen Gewässer durchströmt wird, nur von einem grossen und mächtigen Flusse ausgemeisselt werden konnte. In weiterer Folge haben diese Untersuchungen die Aufdeckung gewisser Phasen in der Geschichte der Kontinente zum Ziele. Im XVI. Kapitel wird der Gegenstand bei der Erörterung der durchgreifenden Wasserscheiden noch einmal berührt werden.

Die Betrachtung beschränkte sich bis hierher auf normale Gestaltung und allgemeine Vorgänge; es sind nun die mannigfaltigen Modifikationen zu untersuchen, welche teils durch Unterschiede in dem erodierenden und ablagernden Medium, also der Kraft des Wassers, teils durch Unterschiede des zu bearbeitenden Materials hervorgerufen werden.

B. Einfluss der verschiedenen Kraft der Strömung auf die mechanische Arbeit des fliessenden Wassers.

§ 68. Der theoretische Satz, dass die Kraft eines Stromes durch das Produkt von Wassermasse und senkrechtem Gefälle bezeichnet wird, findet in der Wirklichkeit erhebliche Einschränkungen. Denn einerseits kann sie durch den Einfluss einer hinzutretenden stossenden oder treibenden Kraft vermehrt und selbst allein hervorgerufen werden. Ein fliessendes Gewässer betritt jede einzelne Teilstrecke mit einer gewissen Geschwindigkeit. Infolge

des Beharrungsvermögens strebt es dieselbe beizubehalten, auch wo das Gefälle auf Null herabgegangen ist. Die Beständigkeit der Fortbewegung wird durch den Druck der Wassermassen von den Teilen her, wo ein Gefälle vorhanden ist, vermehrt. Es kann aber auch eine Strömung ohne Vorhandensein eines Gefälles entstehen, wenn eine treibende Kraft, insbesondere ein konstanter und gleichmässiger Wind, von aussen einwirkt. — Andererseits wird ein Teil der mechanischen Kraft der Strömung auf Arbeit verwendet und dadurch ihre Geschwindigkeit und ihre Kraft vermindert. Die Arbeit besteht zum Teil in der Ueberwindung der Reibung an den Wänden des Kanals, zum Teil wird sie in innerer Reibung verbraucht und zum Teil auf Transport fester Massen verwendet. Insbesondere entstehen allenthalben durch die Hindernisse an Boden und Wänden, sowie durch die ungleiche Geschwindigkeit in einzelnen Teilen des Querschnittes schief gerichtete und wirbelnde, überall die Geschwindigkeit hemmende subsidiäre Strömungen. Sie heben Teilchen vom Boden und reissen sie von den Wänden los, um sie dem Strome zum Forttragen zu überliefern, und streben sie in dessen Wassermasse zu verteilen. Die feinsten Teilchen werden am gleichmässigsten verteilt und am weitesten fortgetragen; grössere kaum gehoben, um bald wieder fallen gelassen zu werden; noch grössere nur einseitig gehoben, d. h. auf dem Boden fortgerollt, bis sie durch Korrosion zu einer für weitern Transport geeigneten Grösse reduziert sind. Jedes Teilchen, welches der Strom hebt und trägt, wird auf Kosten von dessen Kraft gehoben und getragen. Der Aufwand der dazu erforderlichen Kraft ist gleich dem Produkte aus dem (im Wasser gewogenen) Gewicht des Teilchens und dem Betrage, um welchen es in ruhigem Wasser während der Zeit, in der es getragen wird, sinken würde. Da nun kleinere Teilchen langsamer sinken als gröbere, so kann mit demselben Kraftaufwande ein grösseres Gewicht an kleinen als an groben Teilen getragen werden. Eine Wassermasse, welche 1 cbm Schlamm in feiner Verteilung mit Leichtigkeit transportiert, wird vielleicht nicht im stande sein, einen kleinen Kiesel auch nur fortzuschieben.

Unterschied der Strömungsgeschwindigkeit innerhalb des Querschnittes eines Stromes. — Infolge der Reibung an den Wänden und der Belastung am Boden ist die Geschwindigkeit eines Stromes in einzelnen Teilen seines Querschnittes verschieden. An den Seiten ist sie im allgemeinen

geringer als in der Mitte, über tiefen Stellen grösser als über seichten. Am geringsten ist sie am Boden, am grössten etwas unter der Oberfläche an der Stelle der grössten Tiefe des Kanals. Die Geschwindigkeit an der Oberfläche lässt sich bei grossen und ruhigen Strömen bestimmen. Man hat berechnet, dass die mittlere Geschwindigkeit eines Stromes $^4/_5$ von derjenigen an der Oberfläche beträgt, und dass diejenige am Boden halb so gross ist als die mittlere Geschwindigkeit.

Als Beispiele für die Oberflächengeschwindigkeit von Strömen im Unterlaufe mögen angeführt werden:

Seine bei Paris, bei gewöhnlichem Wasserstande	0,50 m	in d. Sek.
Rhone „ „ „	0,40-1,50 „	„ „ „
„ bei Hochwasser	4,00-5,00 „	„ „ „
Rhein b. Strassburg, b. niedrigem Wasserstande	1,50 „	„ „ „
„ „ „ „ mittlerm Wasserstande	2,15 „	„ „ „
„ „ „ „ Hochwasser	2,85 „	„ „ „
„ im Mittel von Strassburg bis Köln . . .	1,54 „	„ „ „
Nil	1,54 „	„ „ „
Ganges	1,54 „	„ „ „
Mississippi	1,25-1,50 „	„ „ „

Die Geschwindigkeit von 1,50 m in der Sekunde ist diejenige eines guten Fussgängers, auch diejenige der grossen Meeresströmungen. Es entspricht ihr eine Bodengeschwindigkeit von 0,60 m in der Sekunde.

Da die Tragkraft eines Stromes von Stromgeschwindigkeit und Wassermasse abhängig ist, so wächst sie mit dem einen wie mit dem andern Faktore, aber um einen erheblich grössern Betrag, als sich aus dem einfachen Verhältnisse der Zunahme eines jeden von ihnen ergeben würde. Indem die Belastung auf Kosten der Kraft des Stromes geschieht, wird dessen Fortbewegung durch sie verzögert. Uebersteigt sie die Tragkraft, wie es bei Verminderung der Stromgeschwindigkeit leicht geschehen kann, so sinkt das überschüssige Material herab. Die stärkste Belastung findet am Boden statt, wo zugleich die Tragkraft am geringsten ist.

Als Anhalt für die Tragkraft der fliessenden Gewässer können die folgenden Zahlen (welche, ebenso wie die vorigen, aus de Lapparents Traité de géologie entnommen sind) dienen:

Bei einer Bodengeschwindigkeit von:	Wird am Boden transportiert:	Durchmesser der Bestandteile:
0,15 m in der Sekunde	grober Schlamm	0,0004 m
0,20 „ „ „ „	feiner Sand	0,0007 „
0,30 „ „ „ „	grober Flusssand	0,0017 „
0,70 „ „ „ „	feiner Kies	0,0092 „
1,20 „ „ „ „	Kiesel von Eigrösse	
1,50 „ „ „ „	platte Steine.	

Es geht hieraus hervor, dass die grossen Ströme, deren mittlere Bodengeschwindigkeit 0,60 m beträgt, sehr feinen Kies am Boden fortzubewegen vermögen. Dies ist zu berücksichtigen, wenn man das Bett eines dieser Ströme aus grossen Kieseln bestehend findet. Es ist dann selbstverständlich ein erheblicher Wechsel der Verhältnisse vorauszusetzen (§ 92).

Bei der Beobachtung über den mechanischen Effekt der fliessenden Gewässer sind die einzelnen Faktoren, insbesondere das Gefälle und die Wassermasse, einzeln in Erwägung zu ziehen.

§ 69. 1) Einfluss des Gefälles.

Mit dem Neigungswinkel eines Flussbettes wächst die Geschwindigkeit der Strömung; daher auch, und zwar in noch höherm Grade (bei gleichbleibender Wassermasse), die mechanische Kraft des bewegten Wassers. Während bei schwachem Gefälle auch sehr feinkörnige feste Teile zu Boden sinken, werden diese bei geringer Zunahme des Gefälles fortgeführt; gröbere bleiben noch liegen. Bei noch stärkerer Neigung, wie sie in Gebirgen häufig vorkommt, bleiben nur noch faustgrosse Steinblöcke am Boden; alles andere Material, dessen das Wasser habhaft werden kann, wird mit fortgerissen. Wildbäche reissen fussgrosse Blöcke im Sturze hinab. Es wird daher zum Teile von dem Betrage des Gefälles und der Korngrösse der festen Bestandteile abhängen, ob ein fliessendes Gewässer sein Bett von Ablagerungen freihalten oder reinigen kann. Gelingt ihm dies, so wird die weitere Arbeit auf Erosion nach der Tiefe verwandt, mittelst der Loslösung, des Transportes und der Korrosion. Es beruhen hierauf die engen und schroffen Formen vieler Querfurchen.

Am intensivsten ist der mechanische Effekt bei senkrechtem Gefälle. Am Fusse eines frei herabstürzenden Wasserfalles bilden sich im Felsgesteine Korrosionskessel, in denen eine wirbelnde Bewegung stattfindet. Führt der Wasserfall Steine herab, wie es bei Gletscherbächen häufig der Fall ist, so verstärken diese die Arbeit des Ausscheuerns der rundlichen Becken. Die Steine werden unaufhörlich gegen die Wände des Kessels geschleudert und vollführen eine zunehmende Korrosion, bei welcher sie selbst in Pulver aufgelöst werden. Fällt der Wasserstrahl konstant auf eine bestimmte Stelle herab, so können tiefe, oft brunnenartige Kessel, die sogenannten Riesenkessel oder Riesentöpfe ausgemeisselt werden. Ihre Anwesenheit deutet stets das frühere Vorhandensein der beschriebenen Scheuerungs-

ursache an. Sie sind nicht auf Gletscher beschränkt. An den Wänden des vertieften Bettes des Colorado findet man derartige Gebilde in hartem Granite in Durchschnitten entblösst. Sie haben die Form von Reagenzgläsern und eine Tiefe von 5 bis 6 Fuss bei einem Durchmesser von 10—12 Zoll. Aehnliche Beobachtungen dürften bei anderen Flüssen anzustellen sein.

Bei Bächen und Flüssen in Gebirgen ist das Gefälle und damit die Stromgeschwindigkeit in der Regel einem häufigen Wechsel unterworfen. Schnell bewegtes Wasser schiesst in einem engen Kanale herab, stösst gegen langsam bewegtes und ruft in diesem rotierende Bewegung hervor, durch welche unterhalb der Stossstelle eine Erweiterung und Vertiefung geschaffen wird. Diese Tendenz schreitet nach rückwärts fort.

2) Einfluss der Wassermasse.

§ 70. Wo verschiedene Ströme nebeneinander in gleichem Gesteine eingegraben sind und jeder von ihnen noch hinreichendes Gefälle besitzt, um erodierend nach der Tiefe zu wirken, vollführt der wasserreichste seine Arbeit am schnellsten. Dies ist deutlich bei den grösseren Alpenthälern mit seitlichen Wasserfällen zu beobachten. In der Regel ist jeder von diesen das unterste Ende eines kleinen Baches, an welchem man nach einer von ihm durchströmten flachen Thalsohle Hunderte von Fuss emporklimmt. Das Hauptthal ist in der Erosion vorausgeschritten, die seitlichen konnten nicht so schnell folgen. Folgt man diesen, so erkennt man den analogen Unterschied zwischen ihnen und den Rinnen ihrer kleineren Zuflüsse, welche abermals in Fällen herabstürzen. Die Form, in welcher die Staffel von dem weniger vorgeschrittenen Bache überwunden wird, richtet sich nach der Lagerung der Gesteine (s. §§ 77, 78). In solchen Fällen, wo die hoch gelegenen Nebenthäler ebene, wiesenbedeckte Sohlen haben, sollte man deren Niveaus miteinander vergleichen. Liegen sie nahezu in gleicher Höhe, oder fügen sie sich zu einer in der Richtung des Hauptstromes sanft abfallenden Ebene zusammen, so muss diese das Ende einer ehemaligen Erosionsperiode bezeichnen, in welcher das Hauptthal nahezu dieselbe Höhe hatte und irgend ein Hindernis, wie der Einfluss in einen entsprechend hoch gelegenen See, ein tieferes Einschneiden unmöglich machte. Erst nachdem das Erosionssystem einen gewissen Grad sehr vollkommener Ausbildung erlangt hatte, erfolgte dann die weitere Vertiefung, bei welcher das Haupt-

thal voranschritt. Zuweilen sind mehrere solcher Erosionsstaffeln oder Strombeckenstufen in einem grössern Abschnitte eines Gebirges erkennbar. Doch ist es bis jetzt sehr schwer gewesen, die Ursachen der daraus hervorgehenden Periodizität in der Thalbildung zu ergründen.

Der periodische Wechsel der Wassermasse ist ein sehr wichtiger, vom Klima abhängiger Faktor für die Erosion. Da diese und die Tragkraft in stärkerm Masse zunehmen als die Wassermasse, so wird die Verdopplung einer Wassermasse deren mechanische Leistungsfähigkeit mehr als verdoppeln. Ein Fluss, welcher periodisch anschwillt, übt daher eine viel grössere erodierende und transportierende Kraft aus als ein solcher, welcher bei gleichem Mittel stets dieselbe Wassermasse führt. Es geht daraus hervor, dass das Bett eines Flusses sich nach der Verteilung der Kräfte bei Hochwasser gestaltet.

Der Betrag, um welchen die Wassermasse eines Flusses periodisch vermehrt wird, ist daher von grosser Bedeutung für die Beurteilung seiner Leistungsfähigkeit, und die Ströme lassen sich in dieser Hinsicht miteinander vergleichen. Eine regelmässige Periode kommt in solchen Gegenden vor, wo eine trockene und eine nasse Jahreszeit miteinander wechseln, wie am Mittelmeere, in vielen tropischen Ländern und dort, wo Monsune die Verteilung der Niederschläge bestimmen. Sie findet sich aber auch in denjenigen Gegenden, wo es zu allen Jahreszeiten regnet, wenn der Niederschlag der kalten Zeit als Schnee aufgespeichert wird. Verteilt sich das Schmelzen des letztern auf eine lange Periode, wie es bei solchen Strömen der Fall ist, welche von schneebedeckten Gebirgen herabkommen und durch schneetragende Flachländer fliessen, so erreicht die Schwellung eine geringere Intensität als dort, wo das gesamte Stromgebiet in niederm Lande liegt, wie bei den Flüssen von Russland und Sibirien, da dann der Schnee über die ganze Fläche in kurzer Zeit schmilzt. Es giebt Ströme, deren einzelne Zuflüsse sich unter sehr verschiedenen klimatischen Bedingungen befinden und daher nicht in derselben Zeit des Jahres Hochwasser haben. Dies wird einen regelmässigern Gang zur Folge haben. Um das Verhältnis von hohem und niedrigem Wasserstande in Zahlen auszudrücken, vergleicht man die Wassermasse, welche in einem Querschnitte in der Sekunde in dem einen und in dem andern Falle fortgewälzt wird. Es beträgt

zuweilen nur 1 : 2, steigt aber bei manchen Strömen auf 1 : 10, 1 : 30 und mehr. Die Erhöhung der Transportkraft ist daher sehr bedeutend.

Am grössten ist der Effekt der Schwellung in solchen Erdräumen, wo fast beständige Dürre von seltenen, aber um so heftigeren Regengüssen unterbrochen wird. Hier ist die säkulare Zersetzung (§ 48) gering; aber auf Gebirgshöhen kann die Zertrümmerung der Gesteine durch Spaltenfrost (§ 41) bedeutend sein, und in denselben Gegenden spielen die Desquamation und das Zerspringen der erhitzten Gesteine durch Abkühlung (§ 39) eine erhebliche Rolle. Ausserdem finden Anhäufungen fester Bestandteile durch die bewegte Atmosphäre statt. Es wird daher eine grosse Menge von losem Materiale angesammelt. Da der Regen, wenn er einmal eintritt, wegen seiner meist sehr grossen Heftigkeit und der Vegetationsarmut nur wenig in den Boden dringt, so kann fast die ganze Kraft des Wassers auf Fortführung fester Massen verwendet werden. Im östlichen Aegypten, am Sinai, in Arabien und in anderen Gegenden von ähnlichem Klima werden hierdurch die zuweilen Hunderte von Kilometern langen Wadis in ihrer Gestalt erhalten und Felsmassen, welche von kontinuierlichen Strömen nicht bewegt werden würden, mit grosser Gewalt in ihnen abwärts getrieben. In der Wüste Atacama, wo Jahrzehnte ohne Regen vergehen können, sollen die Fluten, wenn sie einmal zerstörend hereinbrechen, den Anblick grosser Strecken des Landes völlig verändern.

Aehnliche Wirkungen werden in solchen Ländern hervorgebracht, welche nicht infolge der ursprünglichen Bedingungen von Boden und Klima, sondern infolge langdauernder Kultur waldlos sind. In den französischen Alpen, in Palästina, im nördlichen China und zahlreichen anderen Ländern, wo die Regenmenge des Jahres nicht gleichmässig verteilt ist, sondern durch einzelne starke Güsse geliefert wird, werden ungeheure Massen von Felstrümmern von den höheren Gebirgsteilen nach den niederen geführt, und der dort so kostbare, in früheren Zeiten durch Zersetzung geschaffene kulturfähige Boden giebt den Fluten, welche ihn nach den Ebenen und dem Meere hinabtragen, eine intensiv gelbe oder rote Färbung. Aus demselben Grunde sind die Thäler am Südrande der Alpen, wie diejenigen des Tagliamento und der Piave, mit öden Trümmermeeren von Kalkstein erfüllt, die an die Stelle ehemaligen

Kulturlandes getreten sind. Beobachtungen über die Transportkraft in den ersteren Fällen (Wadis) und über die Masse des fortgeführten Materials in den anderen würden zur Kenntnis der wüstenbildenden Agentien, der Aenderungen, welche in Kulturländern stattgefunden haben, und der Folgen der noch fortdauernden Entwaldung der Gebirge beitragen.

Von anderer Art als der periodische ist der örtliche oder zonale Wechsel der Wassermasse, welcher darin begründet ist, dass ein Fluss Regionen von verschiedenem Klima durchströmt. Es kommt dabei fast nur der Fall vor, dass Flüsse in regenreichen Gebieten entspringen und dann regenarme Länder durchziehen. Dies findet teils bei solchen statt, welche, wie der Nil, einen meridionalen Lauf haben, im tropischen Regengürtel entspringen und durch regenlose Wüsten ihren Lauf fortsetzen; teils bei solchen, welche, wie der Colorado oder die von dem Felsengebirge nach Osten strömenden Flüsse, ihre Quellen in feuchtem Hochgebirge haben und in ausgedehnte trockene Länder hinabkommen. Alle solche Flüsse ziehen durch die trockenen Regionen in scharf geschnittenen Furchen, deren Tiefe sich nach der Dauer der Erosion und der relativen Tiefe des Ausflussniveaus richtet. Das letztere gestattet den Wänden des untern Nilthales die Höhe von nur einigen hundert Fuss, während der Colorado einige tausend Fuss tief eingesenkt ist. Die langen Kanäle erhalten wenig Zufluss. Während bei feuchtem Klima zahllose Seitenbäche und grössere Flüsse das Regenwasser herabführen und jedes kleinere Rinnsal die Steilheit der seitlichen Böschungen zu vermindern strebt, findet in dem trockenen Lande nur ein Sägen nach der Tiefe statt, falls das Gefäll dafür vorhanden ist, indem aller Detritus durch die ganze Länge des Kanals geführt wird, wie bei dem Colorado. Ist das Gefälle gering wie beim untern Nile, so bedeckt sich der Boden mit Sedimenten. Die im Flusse, selbst bei Hochwasser, verteilten Stoffe sind aber zu fein, um seitliche Erosion in bedeutenderm Grade möglich zu machen; nur bei den Katarakten und Stromschnellen kann noch scheuernde Wirkung stattfinden. Wo die Einschnitte oben völlig scharfkantig begrenzt sind, darf man annehmen, dass seit Beginn der Erosion Waldbedeckung nicht vorhanden gewesen ist. Keine anderen Flussrinnen setzen der Kommunikation in der Richtung quer über sie hinweg so grosse Hindernisse entgegen wie diese zuflusslosen Kanäle in regenlosen Gegenden, vorausgesetzt, dass die Tiefe bedeutend ist.

Zu denjenigen Flüssen, bei denen Erosionserscheinungen, Verlust der Wassermasse durch Verdunstung, Ablagerung feinerdiger Stoffe bei Verminderung des Gefälles und die ganze Vorgeschichte der Flussbildung in besonderer Weise studiert werden können, gehören unter vielen anderen auch der Gelbe Fluss in China in seinem Laufe von Lan-tschóufu bis zur Provinz Schansi und die südrussischen Flüsse.

3) Einfluss der Vegetation.

§ 71. In engem Zusammenhange mit der vorgenannten Kategorie von Einflüssen steht derjenige, welchen die Vegetation ausübt, insofern sie zum Teile von denselben klimatischen Faktoren abhängt, welche das periodische Anschwellen oder auch die periodische Existenz der Flüsse im Gegensatze zu ihrer zeitweiligen völligen Austrocknung bedingen. Waldbedeckter Boden ist vor der mechanischen Einwirkung des Regens und der Bildung kleiner Abflussrinnen geschützt. Die Fortführung des Bodens wird durch gefallenes Laub und die Wurzelverzweigungen verhindert. Ein tief zersetzter, mit dichter Vegetation bedeckter Boden nimmt den Niederschlag in gleichmässiger Verteilung auf und vermittelt eine gleichmässige Speisung der Flüsse. Es wird für eine regelmässiger verteilte, daher in ihrer Gesamtwirkung sehr viel schwächere Erosion gesorgt, dagegen dieselbe in bestimmter gezeichnete Bahnen gelenkt, als dort der Fall ist, wo überall das nackte Gestein zu Tage tritt.

Vegetationsbedeckte Berge sind meist gerundet, weil die Zersetzungsprodukte grösstenteils an Ort und Stelle liegen bleiben; die abfliessenden Gewässer sind wenig getrübt. Kahle Berge zeigen schroffe, von dem Wechsel des Gesteins und der Struktur des Gesteins abhängige Formen. Wo hohe, wolkenverdichtende und waldbedeckte Berge aus Hügelland aufsteigen, welches trocken ist und nur einzelne starke Regengüsse erhält, ist dieses schroffer gestaltet als jene; wo sich hingegen bei allgemein feuchtem Klima einzelne Gipfel aus einem Waldgebirge bis über die Vegetationsgrenze erheben, sind sie es, welche das nackte Gestein in seinen charakteristischen Gestalten zeigen.

4) Einfluss der Wetterseite.

§ 72. Alle mechanischen Wirkungen des fliessenden Wassers werden bei einem beiderseits gleichmässig und nach gleicher Tiefe abfallenden Gebirge auf derjenigen Seite, welche am

meisten Regen empfängt, am heftigsten sein. Die grössere Wassermasse bedingt einen bedeutendern Transport von festem Materiale, daher eine vollständigere Ausräumung der Sammeltrichter und Erosionsrinnen, sowie eine stärkere Vertiefung derselben mittelst der Korrosion. Andererseits ist die regenreiche Seite üppiger mit Vegetation bedeckt, daher der Abfluss in schärfer begrenzte Kanäle geleitet, während die spülende Wirkung an den Gehängen vermindert ist; auch dies wirkt auf die relative Vertiefung der Erosionsrinnen hin. Reicht die regnerische Seite, wie am Himalaya oder in den patagonischen Anden, zu grösserer Tiefe hinab als die trockene, und ist sie zugleich steiler, so werden diese Momente zur Erhöhung des Unterschiedes in der Gestalt der Erosionsformen an beiden Gehängen beitragen. Schliesst sich der regenreichen Seite, wie in den Anden von Bolivia, Peru und Ecuador, höheres Land an als der regenarmen, so kann doch die Differenz in der erodierenden Wassermasse beträchtlich genug sein, um dieselben Gestaltungs-Unterschiede wie im vorhergehenden Falle vollkommen hervortreten zu lassen.

Neben der Tendenz des Herabführens der gelockerten Massen und der Vertiefung der Kanäle erkannten wir es als das Hauptbestreben der Flüsse, ihre Wasserscheide nach rückwärts zu verschieben (§ 67). Dieses Bestreben wird an der wasserreichen Seite in viel höherm Grade zur Geltung kommen als an der wasserarmen. Inwieweit es erreicht wird, wird allerdings von der Härte der Gesteine abhängen; denn die Flüsse der wasserärmern Seite können in weicherm Gesteine schneller rückwärts arbeiten als diejenigen der wasserreichen in härterm Gesteine. Setzt man jedoch die Widerstände als gleich voraus, so wird die rückwärtige Verlegung der Wasserscheide die Folge haben, dass mehr und mehr die Oberläufe der Flüsse der regenarmen Seite in die Stromgebiete der Regenseite hineingezogen werden.

Dieses Anfressen der Gebirge an der Wetterseite ist ein wichtiger Faktor in den physischen Veränderungen, welche die Gebirge erleiden, und in ihrer Gestaltung für den Verkehr. Wo es an tiefen Einsattlungen der Gebirgsrücken fehlt, werden die günstigsten Pässe durch diejenigen Stellen bezeichnet, wo der nach einer Flanke abfliessende Strom von einem die Hauptkette durchbrechenden Gewässer gespeist wird, sodass man, ihm aufwärts folgend, nur die niedrigeren Kämme der andern Seite zu

übersteigen hat. Der Verlauf der Wasserscheiden an Hochgebirgen und die Art der Durchbrüche an solchen Stellen, wo eine mit dem Kamme nicht zusammenfallende Ausbiegung derselben stattfindet, sollten daher genauer als bisher studiert werden.*)

C. Einflüsse auf die Erosion, welche in der Lagerung und Beschaffenheit des Gesteines beruhen.

Bei der Darstellung der Normalformen, welche die umgestaltende Wirkung der Erosion hervorbringt, setzten wir voraus, dass die mechanische Arbeit an homogenem Materiale geschehe. Doch kann dies als die Ausnahme bezeichnet werden. In der Regel bieten sich dem Wasser nacheinander feste und lockere Gesteine von sehr verschiedener Beschaffenheit und Lagerung dar; sie setzen der auf sie wirkenden Kraft verschiedene Widerstände entgegen, und es wird dadurch die Ausgestaltung der Formen wesentlich beeinflusst. Es sollen hier einige der vorkommenden Fälle betrachtet werden.

1. Erosion in lockerm Schutte und Gesteine.

Wo lockere Schuttmassen in den Erosionsbereich eines § 73.
wasserreichen und geschwinden Stromes kommen, werden sie schnell zerstört. Die grossen Gesteinsfragmente bleiben im Bette des Flusses, bis sie der Korrosion unterliegen und fortgeführt werden können; die kleineren werden je nach der Korngrösse nach verschiedenen Entfernungen getragen und abgelagert. Liegen solche Schuttmassen hingegen im Ursprungsbereiche fliessender Gewässer, wo deren Kraft noch gering ist, so schreitet die Zerstörung langsam fort, und es bilden sich typische Erosionsformen aus. Sie lassen sich von den breiten Gehängen und Flächen, wo die spülende Kraft der aus den feuchten Niederschlägen

*) Die Bedeutung des Phänomens ist von Dr. Löwl für einzelne Fälle in den Alpen klar gezeigt worden. Seine scharfsinnige Beweisführung giebt manchen Anhalt für die Beobachtung. Beispiele lassen sich anderen Gebirgen in grosser Zahl entnehmen. Es scheint, dass der Bogen, in welchem die Wasserscheide sich von der Kammlinie entfernt, immer seine konkave Seite gegen die Wetterseite richtet. Es wäre von Interesse, wenn Fälle aufgefunden würden, wo das Gegenteil stattfindet. Sie würden die Theorie kaum erschüttern, sondern vielmehr auf eine Aenderung der klimatischen Verhältnisse deuten. Das Problem der Wasserscheiden ist in Kapitel XVI ausführlicher erörtert.

entstehenden Rieselwässer das Hauptagens ist, nach den Rinnsalen hin, wo deren erste Ansammlung zu fest gezeichneten Wasserläufen stattfindet, verfolgen.

Abspülung der Gehänge. — Der Regen fällt auf Land von allen Gestalten und Höhen. Auf flachem Lande durchtränkt er den Boden und sickert hindurch (s. § 50). Dasselbe ist der Fall, wo mechanisch gelockertes Erdreich oder tiefzersetztes Gestein geneigte Gehänge bilden; Vegetationsbedeckung begünstigt die Aufsaugung. Uebersteigt die Masse des niederfallenden Wassers diejenige, welche in den Boden dringt, so fliesst der Ueberschuss, soweit er nicht durch Verdunstung aufgezehrt wird, an der Oberfläche ab. Dies ist das spülende Wasser, welches bald beginnt, sich in Rinnen zu sammeln. Ist der Boden impermeabel, so rinnt alles Wasser oberflächlich ab.

Wo infolge des Ausstreichens der Schichten Zonen von impermeablem Gesteine mit solchen wechseln, in welche das Wasser leicht eindringt, zeichnen sich die ersteren durch das Vorhandensein zahlreicher kleiner trockener Rinnen aus, die sich nach grösseren Bodenfurchen hinabziehen, während sie in den anderen unvollkommen entwickelt sind.

Das spülende Wasser kann verderblich in der Aenderung des Charakters einer Gegend werden, indem es das gute Erdreich hinwegführt. Die kleinen Schuttkegel, in denen ein Teil wieder abgesetzt wird, werden von stärkeren Regen fortgerissen, und das feinerdige Material gelangt hinab nach den Flüssen. Da Entwaldung von Hügelland die Masse des spülenden Wassers und, wenn sie über grössere Regionen erfolgt, die Heftigkeit der Regen vermehrt, so begünstigt sie in hohem Masse die Abspülung der Gehänge. In kahlen Gebirgen, wie in denjenigen von Centralasien und dem Great Basin, wird aus demselben Grunde das spülende Wasser zu einem mächtigen Agens.

Erdpyramiden. — Wo immer das spülende Wasser lockere Massen von sehr verschiedener Korngrösse bearbeitet, wird den grösseren Stücken die aus feinerm Materiale bestehende Unterlage allmählich entzogen; sie erhalten eine schwebende Stellung auf einem scharfen Grate oder einem gerundeten Pfeiler, dem sie eine Weile zum Schutze dienen, bis sie bei fortschreitender Unterwaschung hinabstürzen. In Miniatur kann man die Erscheinung nach starken Regengüssen auf Feldern häufig wahrnehmen, besonders wo Schieferfragmente zerstreut liegen. Im

Gletscherschutte, der oft durch thonige Substanzen oder kalkiges Bindemittel verfestigt ist, bilden sich durch denselben Vorgang an solchen Stellen, wo das spülende Wasser einen Abzug nach einem weit tiefern Niveau hat und sich deshalb tief einzuschneiden vermag, die als Erdpyramiden bekannten Gestalten. Am Rio Grande finden sie sich im trachytischen Tuffe; sie erreichen dort bis 100 m Höhe.

Auswaschung im Schutte durch fliessendes Wasser. — Sowie das Wasser in Kanälen angesammelt ist, ist seine erodierende Wirkung auf enge Grenzen beschränkt. Es wurde bereits auf das einfache und lehrreiche Objekt der Beobachtung hingewiesen, welches die Ursprungsregionen von Wasserläufen in vulkanischem Schutte darbieten, sei es, dass dieser den Schlackenkegel eines Vulkans zusammensetze, oder dass er in Gestalt mächtiger Tuffmassen abgelagert sei. Es entstehen in ihm die als Barrancos und Calderas bekannten, oft sehr grossartigen Auswaschungsformen. Jene sind radiale Rillen, diese hingegen kesselförmige Vertiefungen, aus denen die von allen Seiten angesammelten Gewässer durch eine meist sehr enge Schlucht nach aussen entweichen. Bei den Kesselbildungen, die in manchen vulkanischen Gegenden zu bedeutender Entwicklung gelangen, sollte in jedem Einzelfalle die Rolle untersucht werden, welche die subterrane Erosion (§ 58), besonders hinsichtlich des seitlichen und rückwärtigen Fortwachsens der Rinnsale spielt.

In manchen Bodenarten findet eine Oberflächenerosion überhaupt nicht oder doch in sehr geringer Weise statt, da sie auch bei heftigen Regengüssen das Wasser aufsaugen wie ein Schwamm. Dies gilt vor allem von dem Löss, wo er mächtig lagert. Der für ihn charakteristischen Erosion unter der Oberfläche wurde bereits oben gedacht.

Aehnlich wie lockere oder halbverfestigte Schuttanhäufungen verhalten sich Schiefermassen, welche aufs äusserste zusammengefältelt, zerklüftet und durch Rutschflächen endlos zerteilt sind, wie die Bündtner Schiefer nebst einem Teile des Flysch in der Schweiz und die Algäuschichten von Nordtirol und Vorarlberg. Sie können als in ihrem groben Bestande homogen aufgefasst werden. Daher liefern sie in vollkommenster Weise die Erosionsformen, mit den oben (§§ 66, 67) erwähnten Erscheinungen des Rückschreitens, der Erniedrigung der Wasserscheiden und der Verbindung benachbarter Erosionsfurchen.

2) Erosion in horizontal lagerndem Gesteine.

§ 74. Auf jeder horizontal ausgebreiteten Fläche, die auf horizontaler Lagerung von Schichtgesteinen beruht, ist der zerstörende Angriff für das Wasser schwierig; die Oberfläche ist in feuchten Ländern mit Zersetzungsprodukten und Vegetation, in trockenen mit den durch atmosphärische Seigerung übrig gelassenen Erzeugnissen der Zerstörung, Sand oder Kies, bedeckt, oder es ist durch das beständige Hinwegfegen aller feinen Stoffe der nackte Fels übriggeblieben. Absolute Horizontalität kommt in der Natur auf der festen Erdoberfläche nur in verschwindendem Masse vor. Der Boden wird fast immer mindestens so weit geneigt sein, dass dem Wasser eine Richtung der Strömung vorgezeichnet ist. Aber seine Transportkraft ist so gering, dass er sich durch Zusammenschwemmen der gelockerten Stoffe selbst die Gelegenheit zur Erosion nimmt. Haben die Schichten eine flach muldenförmige Biegung, und findet in der Längsachse der Mulde ein an Horizontalität grenzendes Gefälle statt, so strömt zwar das Wasser in dieser zusammen und kann an den flachgeneigten Böschungen ein wenig erodieren; aber im Boden der Mulde werden die Stoffe zusammengehäuft und verhindern die Zerstörung des Gesteines. Doch kann an der konvexen Seite der Windungen, welche der Fluss in dem Sedimente macht, eine Abnagung des Gesteines und dadurch die Ausarbeitung eines schärfer gezeichneten Flussbettes stattfinden.

Ein anderes Verhältnis tritt ein, wenn die Tafelfläche in der Richtung des Fliessens mit einem schroffen Abbruche endet. Dann ist an dieser Stelle die Bedingung für starkes Gefälle und tiefe Auswaschung gegeben; es bildet sich eine schroffe, erst sehr kurze Schlucht, und von dieser aus schreitet die Erosion weiter und weiter zurück. Das Verhältnis kann dadurch komplizierter werden, dass die Tafelfläche in einzelnen Stufen abfällt; dann findet an jeder derselben das tiefe Einschneiden des Wassers und das Rückschreiten der Erosionsfurche statt.

Diese Vorgänge, welche sich oft von dem Rande eines Tafellandes aus gegen seine entfernten Teile hin in allen Stadien verfolgen lassen, bestimmen die Formen im kleinsten wie im grössten Massstabe. Es kommen hierbei diejenigen Bodenformen in Betracht, welche wir später (Kapitel XVI) als Schichtungstafelländer und Uebergusstafelländer bezeichnen werden.

§ 75. Schichtungstafelland besteht aus horizontal gelagerten Sedimentschichten. Ueber grosse Erdräume sehr vollkommen

ausgebildet, lehnt es sich doch nicht selten an höher aufragende, wasserspendende Gebirge, welche es an einer Seite oder an mehreren und selbst an allen Seiten beckenförmig begrenzen. In letzterm Falle haben sich zuweilen die Gewässer an einer Stelle der Umrandung einen manchmal sehr tief erodierten Ausweg geschaffen und damit das für die Erosion des Tafellandes erforderliche tiefere Niveau des Abflusses gefunden. In dem Falle einseitiger Gebirgsbegrenzung wird man fast immer an der vom Gebirge abgewandten Seite des Tafellandes einen steilern Abbruch finden, von welchem aus die Erosion rückwärts fortschreiten kann. Es scheint, dass dort, wo sie einmal eingeleitet ist, die Ausfurchung nach der Tiefe schnell vor sich geht, die Verlängerung der Erosionsfurchen nach rückwärts aber sehr langer Zeiträume bedarf. Daher findet man Plateauränder von so wilden und steilen Schluchten durchsetzt, dass dieselben völlig unzugänglich sind, und der Anstieg nur auf den trennenden Rücken geschehen kann. Aber meist sind die Schluchten kurz, und auf der Höhe fliessen die Gewässer in flachen Schwemmlandthälern (Sächsische Schweiz, Rauhe Alp, chinesische Provinz Schansi, nordindische Saltrange, Ränder der südafrikanischen Tafelländer). Hat aber die erodierende Thätigkeit lange genug fortgedauert und sind die Tafelländer von grossen, anderwärts entspringenden Strömen durchzogen, so sind Schluchtensysteme von oft sehr grossartiger Anlage ausgebildet. Hierher gehört der Lauf der Elbe durch das böhmisch-sächsische Quadersandsteingebirge, deren tiefes Niveau die Veranlassung zu den das Wesen der Sächsischen Schweiz bedingenden Erosionsformen der kleinen seitlich einströmenden Gewässer geboten hat; ferner der Lauf des Nils in seinem ägyptischen Teile, wo er sein Bett im Boden einer äusserst flachen Mulde erodiert hat; ebenso die langen wohlausgebildeten Wadis, welche von dem östlichen Grenzgebirge des Tafellandes herabkommen; vor allem aber die Cañons des Colorado und seiner Zuflüsse.

Der Charakter der Schichtungstafelländer wird nicht nur durch die Länge der Erosionsfurchen, sondern auch durch deren Gestalt im Querschnitte bestimmt, und es sollte diese sorgfältig beobachtet werden. Ist das Gestein von gleichartiger Beschaffenheit und zugleich von senkrechten Klüften durchsetzt, wie in den genannten Quadersandsteingebieten oder (in weit grösserm Massstabe) in gewissen, aus roten Sandsteinen

zusammengesetzten Gebirgsländern der südlichen Provinzen von China, so sind selbst in regenreichen Ländern die Schluchten eng und von senkrechten Wänden eingeschlossen (Fig. 32); der grössere Wasserreichtum macht sich lediglich in der grössern Zahl der oft labyrinthisch verzweigten Schluchten geltend, während wasserarme Gegenden nur in langen einfachen Linien von denjenigen grösseren Flüssen, welche von aussen in sie eintreten, durchzogen sind. Lagern hingegen verschiedene Schichtgesteine übereinander, so sind in trockenen Ländern die Flüsse auch in diesem Falle steil und eng eingeschnitten*) und auf einzelne lange Linien beschränkt. In feuchten Ländern hingegen bildet sich dann die grösste Mannigfaltigkeit der Formen aus. Nicht nur entstehen eine grosse Zahl von Erosionskanälen, sondern jeder entwickelt seine Formen nach dem besondern Charakter des Gesteins, in das er eingesenkt ist. Die Seitenwände der Thäler steigen in einer Reihe von Stufen an, wobei die härteren Schichten steiler, die weicheren in sanften Böschungen abfallen (s. Fig. 33, 34). Die Abbrüche der erstern ziehen in Linien, welche nahezu den Isohypsen entsprechen, um alle Ausbuchtungen der Gehänge herum, und eine die einzelnen Schichten verzeichnende geologische Karte würde

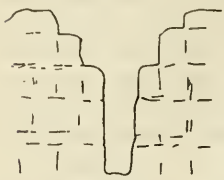

Fig. 32.

*) Nur in den oberen Teilen liegen, wie am Colorado, die beiden Thalwände weit auseinander, weil hier der Fluss einst einen mäandernden Lauf auf der Tafelfläche hatte. Am Plateau-Abfall ist dies am wenigsten der Fall gewesen. Hier geschah von Anfang an die Erosion wesentlich nach der Tiefe, daher sind hier die Terrassengehänge am wenigsten ausgebildet; je weiter man am Hauptflusse und seinen Nebenflüssen aufwärts geht, desto mehr treten stufenweise die oberen Terrassen auseinander, weil das steilere Gefälle und damit die stärkere Tiefenerosion sehr allmählich nach rückwärts fortschritt, daher hier hinreichende Zeit für grössere Ausweitung des Flussthales gegeben war, um so längere in jedem einzelnen Niveau, je höher hinauf es liegt. Am längsten war sie an jeder Stelle im höchsten Niveau, wo die Thalränder am weitesten voneinander abstehen; je tiefer der Fluss sich einschnitt, desto näher lag eine Stelle steilern Gefälles, daher hatte er immer weniger Zeit für die seitliche Erosion. Es ist indes zu beachten, dass diese Vorgänge für die Erklärung der völligen Ausgestaltung der Terrassen nicht ausreichen. Eine nicht unwesentliche Rolle bei derselben ist der atmosphärischen Erosion zuzuschreiben (s. § 194).

das bunteste Gemisch von Unregelmässigkeit der Linien und Regelmässigkeit der Aufeinanderfolge darbieten. Die Trias-Lias-Gebiete in Süddeutschland, vor allem aber das Rote Becken in der Provinz Sz'-tshwan in China, geben hierfür vortreffliche Beispiele.

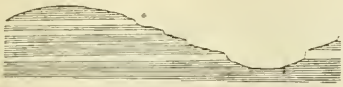

Fig. 33.

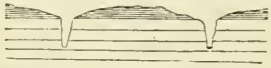

Fig. 34.

Einige der vollkommensten Schichtungstafelländer sind aus einem Wechsel horizontaler Decken von eruptiven Gesteinen und zwischengelagerter tuffartiger Sedimente zusammengesetzt. Sie finden sich von silurischem bis zu tertiärem Alter. Eines der ausgezeichnetsten Beispiele bietet das „Trapp"-Plateau des Dekkan. In allen solchen Fällen ist das treppenförmige Ansteigen der Gehänge der Erosionsthäler, besonders bei regenreichem Klima, vorzüglich entwickelt.

§ 76. Uebergusstafelländer sind dadurch entstanden, dass ein grösserer Erdraum von irgend welchem innern Bau von einem Eruptivgesteine in dünnflüssigem Zustande übergossen wurde und dieses eine horizontale Oberfläche annahm. Sie werden wesentlich von basaltischen und doleritischen Gesteinen gebildet. Die daraus bestehenden Decken dienen den Strömen zur Ausbreitung, da sich für die Erosion die grössten Schwierigkeiten bieten. Ausgangspunkte für dieselbe giebt die Zerklüftung; aber häufig wird durch dieselbe das Wasser ganz versinken und seine Wirkung an der Unterlage ausüben, in welcher in der Regel vor der Uebergiessungskatastrophe ein wohlentwickeltes Abflusssystem vorhanden war. Oft sind basaltische Platten wenigstens in einer Richtung steil abgebrochen. An anderen Stellen begleiten ihre Bruchränder zu beiden Seiten in einigem Abstande einen in das unterlagernde Gestein eingesenkten Fluss. Die Ursache beruht in der Unterwaschung, indem das Gestein, unterstützt durch die senkrechte Zerklüftung, nachstürzte. Manche Ströme vermögen in langem Laufe über basaltisches Tafelland zu fliessen. Entweder sind sie so wasserreich, dass sie nur einen Teil ihrer Wassermasse durch Versinken in den Klüften einbüssen, oder diese sind durch die thonigen Sedimente des Flusses verstopft.

sodass er weitere schützende Sedimente auf dem Basalte abzulagern vermochte. Solche Flüsse bilden oft Wasserfälle an den Steilabbrüchen des Basaltes (Fälle des Columbia in Nordamerika. Viktoria-Fälle des Zambesi in Afrika). Ueber das Rückschreiten solcher Fälle ist nichts bekannt. Vermutlich vollzieht es sich nicht durch Erosion des Deckengesteins, sondern durch Erosion der Unterlage und Nachstürzen der Decke.

Häufig sind Tafeln vulkanischer Gesteine nur noch in einzelnen Resten vorhanden. Wo ein kleiner Rest einen Hügel krönt, wird oft der Name „Tafelberg“ angewendet. Solche losgerissene Tafeln (Fig. 35) sind neben zusammenhängenden Decken für manche Gegenden charakteristisch. Die Ursache ihrer Bildung ist nicht immer ganz klar. Wahrscheinlich beruht sie in dem eben bezeichneten Umstande, dass die Gesteinsdecke nicht einen vollständigen Schutz für die Unterlage bietet, sondern diese von dem durch die Klüfte dringenden Wasser weiter erodiert wird, sodass die Basaltdecke in gewissen Richtungen einstürzen muss. Hat dies einmal begonnen, so ist der weitere Fortschritt leicht.

Fig. 35.

Fig. 36.

Wo ein Strom vulkanischen Gesteins sich in ein Thal ergossen hat und es von einer Wand zur andern ausfüllt, kann er den Fluss verdrängen und zur Bildung neuer Erosionsrinnen Anlass geben. Ein Beispiel dieser Art ist der in Fig. 36 im Querdurchschnitte dargestellte Tafelberg in Tuolumne-County in Kalifornien, welcher als das Ende eines 60 km langen Basaltstromes ein langgedehntes, ungefähr 500 m breites und 50 m dickes Band *a b* bildet und zu beiden Seiten von Thalfurchen (*a e f* und *b g h*), die in Glimmerschiefer ausgewaschen sind, begleitet wird. Er bedeckt in seiner ganzen Länge ein goldführendes, durch mehrere Tunnel erschlossenes altes Flussbett. Offenbar hatte das Thal früher die Gestalt *c a b d*. Die feste Decke veranlasste die beiderseitige Bildung eines Stromes und die Fortführung von mindestens 1000 m Gestein durch Erosion. Aehnliches dürfte nicht selten vorkommen.

3) Erosion in geneigten Schichten, wenn die Strömungsrichtung dem Streichen parallel ist.

In einem geneigten Schichtensysteme wechseln stets Gesteine § 77. von verschiedener Härte. Eine hindurchgelegte Horizontalfläche würde sie in mehr oder weniger parallele Bänder oder Zonen schneiden. Da nun die Ausbildung einer ganz ebenen Oberfläche zwar durch Abrasion (§ 161) annähernd, aber niemals vollkommen erreicht werden kann, so findet das Wasser leicht Abfluss, und es bieten sich ihm von Anfang viele Ansatzpunkte zur Erosion. Wenn seine Stromrichtung dem Schichtenstreichen parallel ist, so gräbt es in gleichartigem Gesteine senkrecht nach der Tiefe, und zwar wird es in einem Lande von feuchtem Klima, bei gleicher Wassermenge und gleichem Gefälle, in demselben Zeitraume in hartem Gesteine (*h* in Fig. 37) einen engen Kanal (*b*), in weichem (*w*), wegen der stärkern Abtragung der Seitenwände, ein breiteres und zugleich tieferes Bett (*aa*) ausgegraben haben. Wird *a* (Fig. 38) tiefer gegraben und das harte Gestein *h* von der Sohle erreicht, so setzt sich die Erosion nicht senkrecht in die Tiefe fort, sondern die Sohle geht auf der Fläche des harten Gesteines hinab, nach a^2 und a^3. Wird hingegen *b* tiefer gegraben, sodass es das darunter liegende weiche Gestein (*ww*) erreicht, so bleibt die Richtung des Einschneidens senkrecht; aber das Thal erweitert sich einseitig, indem die Unterlage von *h* unterwaschen wird und dieses Gestein nachstürzt. Das Thal nimmt die Formen $b\,b^1$, $b\,b^2$ und $b\,b^3$ an. Kommt hier die Sohle wieder auf hartes Gestein (*hh*), so findet bei weiterer Erosion ein Hinabgleiten der Sohle statt, wie im vorigen Falle. Das durch b^1 bezeichnete Thal wird zur Linken eine steile und selbst überhängende Wand haben, zur Rechten ein sanftes Gehänge.

Fig. 37

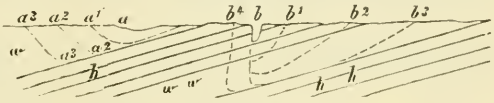

Fig. 38.

Diese Erscheinungen sind in gefaltetem Sedimentgebirge, z. B. in den nördlichen Kalkalpen, vielfach zu beobachten. Es erklären sich durch sie leicht die Formen von isoklinen Längs-

thälern, welche durch Erosion, wenn auch in vielen Fällen nicht ursprünglich gebildet, so doch stets vertieft sind. Fast immer ist die sanfte Seite diejenige, an welcher die Schichten dem Thale zufallen, während sie an der Steilseite von ihm hinwegfallen. Die Neigung der letzteren nähert sich der Senkrechten, wenn die Höhe aus festem Gesteine besteht, welches durch weiches unterlagert wird.

Seltener ist ein anderer Fall, der aber der Bildung mancher merkwürdigen und schwer erklärbaren Erscheinung in der Anlage von Thälern zu Grunde liegen dürfte. Wenn nämlich hw (Fig. 39a) ein in der Richtung des Pfeiles einfallendes Schichtensystem von harten und weichen Schichten darstellt und ad einen Fluss, welcher im allgemeinen dem Streichen parallel gerichtet ist, aber infolge der ursprünglichen Oberflächengestaltung oder durch Kluftrichtungen veranlasst, in der Strecke bc sich bei der ersten Anlage in das harte Gestein (h) eingrub,

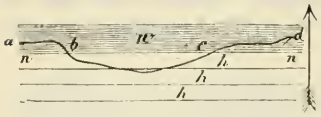

Fig. 39a.

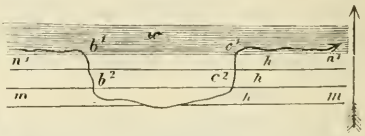

Fig. 39b.

so wird bei der Tieferlegung des Flusslaufes (s. Fig. 39b) die Strecke bc senkrecht erodiert werden, also in b^2c^2 liegen. Die Strecken ab und cd hingegen sind nach a^1b^1 und c^1d^1 hinabgeglitten, wenn mm senkrecht unter nn gelegen ist und n^1n^1 in dem tiefern Niveau die Trennungslinie der harten und weichen Gesteine darstellt. Die Strecken b^1b^2 und c^2c^1 sind neu hinzugewachsen und werden ziemlich genau rechtwinklig gegen das Streichen gerichtet sein. — In Ländern, wo die Erosion durch fliessende Gewässer durch lange geologische Perioden wirksam gewesen ist, wie im südöstlichen China, sind diese Erscheinungen in grossartigem Massstabe zu beobachten. Infolge der Härte ragt h zu einem schroffen Gebirge auf, während w in sanften Formen abgetragen ist. Statt des anscheinend leichten Laufes, welchen der Fluss zwischen b^1 und c^1 haben würde, sieht man ihn mit Staunen den unbequemern Weg wählen und in schaurigen, meist an Stromschnellen und

Klippen reichen Engen auf grösserer Erstreckung das starre Gebirge durchbrechen.

Ausser dem Grade der mechanischen Zerstörbarkeit tritt der Grad der Löslichkeit als ein entscheidendes Moment für die Lage der dem Streichen parallelen Thäler ein. Bei sehr festen Gesteinen ist dieselbe am meisten bestimmend. Am Tsinling-Gebirge in China z. B. wechseln in senkrechter Schichtenstellung Gneis mit kristallinischem Kalksteine (Fig. 40). Das ganze Schichtensystem ist von dem Flusse Héi-lung-kiang in tiefer Schlucht quer durchbrochen. Alle der Schichtung parallelen Seitenthäler sind in den leichter löslichen Kalkstein eingesenkt.

Fig. 40.

4) Erosion in geneigten Schichten, wenn die Strömung rechtwinklig zum Schichtenstreichen gerichtet ist.

§ 78. Die Querthäler in gefaltetem Gebirge durchschneiden meist in ungefähr rechten Winkeln die Streichungslinien geneigter Schichten. Da sie vorzugsweise klare Aufschlüsse bieten, so lässt sich in ihnen der Einfluss des Gesteines besonders gut beobachten.

Wenn Schichten dem strömenden Wasser entgegenfallen (Fig. 41), so gräbt sich das Wasser schnell in das weiche und langsam in das harte Gestein ein. Jede Bank des letztern hindert aber die tiefere Erosion in dem oberhalb gelegenen Teile weichern Gesteines. Daher lagern sich hier Sedimente ab, in denen der Fluss einen gewundenen Lauf nimmt, vermittelst dessen er die Seitenwände benagt und den Thalboden erweitert, wie dies in der Horizontalprojektion (Fig. 42) dargestellt ist. In dem festen Gesteine hingegen wird alle Arbeit auf die Tieferlegung des Kanals verwendet. Hier fliesst das Wasser schnell hindurch nach der nächst tiefern, in weichem Gesteine gelegenen Stufe. Entweder stürzt es in einem Falle auf dieselbe und gräbt durch Korrosion eine kleine, aber tiefe Höhlung, wie in *a* und *b*, oder es stösst gegen das langsam fliessende Wasser

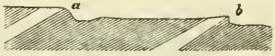

Fig. 41.

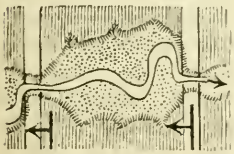

Fig. 42.

und verursacht einen Wirbel, welcher eine grössere, aber weniger tiefe Höhlung auswäscht. Es entsteht ein Wechsel von Thalweitungen mit ebenem Boden und verbindenden Felsengen. Ist die Zone des harten Gesteines breit und der Unterschied im Härtegrade bedeutend, so können die Thalboden eine Reihe von Terrassen darstellen. Wenn ein Wildbach in schnellem Wechsel härtere und weichere Gesteine durchströmt, so entsteht eine Reihe von Kaskaden, wie in Fig. 43.

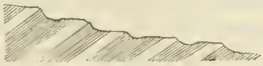

Fig. 43.

Fig. 44.

Fallen die Schichten in der Richtung des strömenden Wassers (Fig. 44), so entsteht ein ähnlicher Wechsel von langsamer und schneller Strömung, aber mit weniger schroffen Uebergängen. Der Strom stösst sich an die ihm entgegenstehende Kante des festen Gesteines und bildet vor ihr einen Wirbel und eine Vertiefung. Dasselbe wird in grösserer Ausdehnung stark benagt; es entstehen leicht mehrere Kanäle, zwischen denen Riffe und Klippen des festen Gesteines stehen bleiben. Diese Lagerung verursacht daher mit Klippen besetzte Stromschnellen.

5) Erosion in geneigten Schichten, wenn die Strömung diagonal zum Schichtenstreichen gerichtet ist.

§ 79.

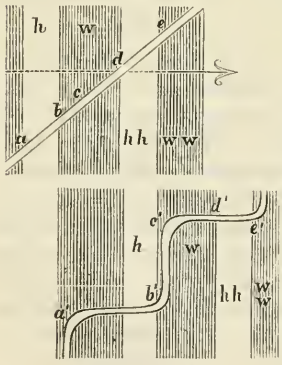

Fig. 45a und 45b

Wird ein in der Richtung des Pfeiles (Fig. 45a) einfallendes System härterer und weicherer Schichten (*h-w-hh-ww*), welches oben abgeschliffen ist, von einem Flusse (*a b c d e*) diagonal zur Streichrichtung durchströmt, so unterliegt jeder Teil des letztern bei tieferm Einschneiden den in den Erläuterungen zu Fig. 38 und 39 dargestellten Normen, und es entsteht eine Zerlegung in zweierlei verschiedenartige Strecken. Diejenigen im weichen Gesteine haben, indem sich jeder Teil des Stromes senkrecht

eingräbt, bis er die harte Schicht trifft und dann auf dieser hinabgleitet, das Bestreben, sich der Streichrichtung anzuschmiegen und entlang derselben solange als möglich in den weichen Schichten zu verharren; dagegen sucht der Strom das harte Gestein auf möglichst kurzem Wege, also rechtwinklig zum Streichen, zu verqueren. Der Strom wird also, wenn er ein tieferes Niveau (wie es in einem idealen Horizontaldurchschnitte in Fig. 45b dargestellt ist) erreicht hat, die aus Längs- und Quer-

Fig. 47.

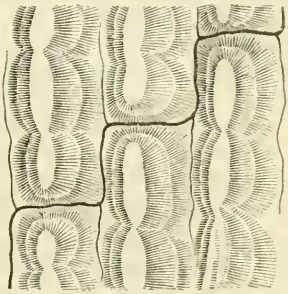

Fig. 46.

strecken zusammengesetzte Gestalt $a^1 b^1 c^1 d^1 e^1$ angenommen haben. Fig. 46 stellt die daraus hervorgehende Plastik der Oberfläche dar, Fig. 47 ein auf die Vertikalebene projiziertes Profil. Es ist dabei nicht wesentlich, ob die Strömung in der Richtung $a\,e$ oder umgekehrt stattfindet. In beiden Fällen bestimmen b und e die Lage des rechtwinkligen Durchbruchs durch die harte Schicht. Nur ist im ersten Falle das rechte, im zweiten das linke Ufer der Längsstrecken von dem steilern Gehänge begleitet. Der Unterschied tritt hervor, wenn der Fluss, wie in Fig. 48, ein stehendes, durch die beiden Pfeile angegebenes Schichtengewölbe durchbricht. Dann sind auf einer Seite die rechten,

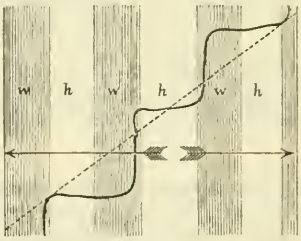

Fig. 48.

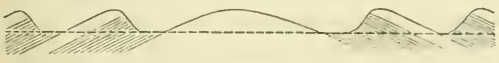

Fig. 49.

auf der andern die linken Thalgehänge der Längsstrecken steil. Der Effekt auf die Formen ist in der Profilprojektion (Fig. 49) angedeutet. Es ist dabei angenommen, dass bei der ersten Anlage die weichen Schichten *ww* sich bis zur Oberfläche zusammenwölbten. Waren

die Scheitelgebilde hart, so wird diejenige Strecke, in welcher der Fluss sie anfänglich durchströmte, senkrecht niedergehen, ohne die Richtung zu ändern, also in der Diagonale beharren.

Diese theoretischen Ableitungen auf Grund eines Prinzips, welches zuerst G. K. Gilbert erkannt zu haben scheint, sind in der Natur zu prüfen. Sie scheinen den Schlüssel für das Verständnis einer Menge von eigentümlichen Fällen der Gebirgsanordnung zu geben. Es wird sich Gelegenheit bieten, darauf zurückzukommen. Die Erscheinung bezeichnen wir als diagonale Stromzerlegung.

6) Erosion fliessender Gewässer auf Abrasionsflächen.

§ 80. Wir werden später (§ 161) die Abrasionsflächen kennen lernen, welche dadurch entstehen, dass die Brandungswelle grössere Landstriche abschleift, und die Trümmer fortgeführt werden. Wenn die Meeresbedeckung verschwindet, lässt sie ein auf grosse Strecken ebenes, in anderen Teilen ein in welligen Stufen ansteigendes Land zurück, dessen innerer Bau, im Gegensatze zu Schichtungstafelländern, die bunteste Gesteinszusammensetzung und Struktur besitzen kann. Es herrschen daher in der Anordnung und Gestaltung der Erosionskanäle und der Umformung des Tafellandes in Hügelland durch die Erosion nicht die dort geltenden einfachen Gesetze, sondern es können alle bisher betrachteten Fälle vorkommen. Die Abrasionsflächen scheinen am gleichmässigsten zu sein, wenn sie regelmässiges Faltungsgebirgsland bei gleichmässigem Härtewechsel der einzelnen Schichtgesteine durchschneiden, der innere Bau also den Modifikationen des in Fig. 50 dargestellten einfachen Schemas entspricht, wie es im rheinischen Schiefergebirge der Fall ist. Solche Schichtensysteme, welche der Abrasion einen grössern Widerstand leisteten, werden, auch wenn sie weichere Gesteine umschliessen, in Gestalt flacher Wellen aufragen, wie sie in dem genannten Gebirge durch die Züge des Taunus, des Westerwaldes, des Hunsrück, der Schneeeifel, des hohen Venn und der Crête de Condroz dargestellt werden. Bei der Trockenlegung ist, wie immer Oberfläche und innerer Bau beschaffen sein mögen, jedenfalls in erster Linie die Richtung der Abfälle für die Bildung der primären

Fig. 50.

Erosionsrinnen massgebend gewesen; in zweiter Linie wird die innere Struktur bei der Entstehung sekundärer Rinnen, welche in die ersteren einmünden, mitgewirkt haben. Diese sekundären Erosionsfurchen scheinen in der Regel der Streichrichtung der Falten zu folgen, die primären hingegen mehr oder weniger rechtwinklig die letzteren zu durchschneiden, daher grosse entwickelte Längsthäler in solchen Ländern selten sind. Diese mindestens sehr häufige, vielleicht allgemeine Erscheinung lässt sich auf den a priori vorauszusetzenden Umstand zurückführen, dass das Meer bei der Bildung der Abrasionsfläche in Linien vorschritt, welche den Faltungen, d. h. der Achsenrichtung des Gebirges, parallel waren und in ebenso gerichteten Linien zurückwich, sodass die ersten Abzugsrinnen rechtwinklig zu diesen verlaufen mussten. Da nun aus dem Meere aufsteigende Abrasionsflächen die Ursprungsform grosser Kontinentalgebiete gewesen sind, so ist in der Regel das Querthal die Grundform des Wasserabflusses. Grosse Längsmulden, welche von zwei Wellen härterer Gesteine eingeschlossen waren, konnten Zuflüsse aufnehmen; aber selbst dann waren die von den beiden Flanken jedes Rückens herabziehenden Querfurchen der Zeit nach die erste Bildung.

Ein zweiter bemerkenswerter Umstand besteht darin, dass die Längsrinnen meist antiklin sind (Fig. 51), d. h. den Gewölbesatteln folgen; seltener sind sie isoklin, und noch seltener folgen sie den Mulden der Faltungen und werden dadurch synklin. Die Ursache hiervon ist leicht zu erkennen. Denn in den Gewölbesatteln ist das Gestein am meisten gedehnt und gelockert, in den Mulden am stärksten zusammengepresst und verdichtet. Dieses Verhältnis musste schon bei der Abrasion selbst von Einfluss auf die Oberflächenformen sein, aber ebenso für die spätere Entstehung von Erosionsrinnen in der Richtung des Schichtenstreichens bestimmend bleiben. Sattelthäler würden vielleicht die ausschliessliche Form der letzteren sein, wenn nicht durch die in §§ 77 und 79 erörterten Vorgänge ein Hinabgleiten der Thalsohlen auf den festesten Gesteinsschichten stattfände.

Fig. 51.

Uebrigens kommen gerade in Gebirgen dieser Art auch Diagonalthäler vielfach vor, indem sich wahrscheinlich bei der ersten Anlage die beiden Thalrichtungen zu einer winkligen

Mittelrichtung verbanden, und dann entstehen die in § 79 angegebenen Abweichungen.

Man erkennt Abrasionsgebirgsländer daran, dass die Schichtgebilde unter den verschiedensten, auch den steilsten Winkeln zu Tage ausstreichen und alle Höhenlinien, wenn man sie von einem Punkte aus überblickt, sich nahezu decken, sodass die Kämme ersichtlich die Reste einer Fläche sind, welche ehemals kontinuierlich war, aber durch die Thalerosion aufgelöst wurde. Die Aufmerksamkeit richtet sich erst in neuester Zeit darauf, und es fehlt noch durchaus an Beobachtungsmaterial zur Vergleichung. Gelegenheit zur Untersuchung ist in allen Kontinenten gegeben.

7) Einfluss übergreifender Lagerung auf die Erosion.

§ 81. Abrasionsflächen sind selten unbedeckt. In der Regel ist das Abrasionsmaterial in transgredierenden Schichten abgelagert (§ 163), welche, wenn sie grössere Mächtigkeit erreichen und nachträglich keine erheblichen Störungen erfahren haben, Schichtungstafelländer bilden. Es entsteht nun während und nach der Trockenlegung ein Erosionssystem, welches dem Charakter jener (§ 76) entspricht und von dem innern Baue der Unterlage unabhängig ist. Auch dann, wenn die transgredierenden Schichtmassen nachträglich bedeutende Verwerfungen und faltende Stauungen erleiden, steht das unter diesen Störungen sich fortbildende Abflusssystem in keiner direkten Beziehung zum Unterbaue. Ist nun die Gesamtheit der transgredierenden Gebilde so hoch erhoben, dass auch die Oberfläche des Unterbaues über dem Meeresniveau liegt und die Erosionskanäle in denselben eingegraben werden können, so werden sie das Bestreben haben, in ihm senkrecht niederzugehen und mithin eine Anordnung zu schaffen, welche von der Struktur der Unterlage unabhängig ist. Es werden allerdings durch deren Bau und Zusammensetzung, insbesondere den Wechsel härterer und weicherer Gesteine, noch mancherlei Modifikationen hervorgebracht werden; aber die grossen Züge der Anordnung werden sich im wesentlichen nicht mehr ändern. Dauert die Erosion hinreichend lange fort, so kann die Decke, die in der Regel aus leichter zerstörbaren Gesteinen besteht, ganz oder bis auf einzelne Reste entfernt werden; es wird dann eine Anordnung der Thäler bleiben, welche nur in kleinen Einzelheiten Beziehungen zu dem Baue der von ihnen durchsetzten Gebirge

hat, in ihren Hauptlinien aber davon abweicht. Hierdurch mögen sich die vielen grossen Diagonalthäler mancher Gegenden erklären; z. B. im südöstlichen China, wo eine mächtige Decke horizontal gelagerter roter Sandsteine von einer in hohem Grade gefalteten, jetzt die Gebirge fast ausschliesslich zusammensetzenden Unterlage bis auf sporadische Reste während einer langen Erosionszeit entfernt worden ist. Die Abflussrinnen scheinen dort in ihrer Anlage durch die Neigung der roten Sandsteine bestimmt worden zu sein; aber die Flüsse durchströmen diese nur noch an einzelnen Stellen und sind längst vermittelst des Einschneidens in das unterlagernde ältere Gebirge, zu dessen Streichen sie schiefwinklig gerichtet waren, in einen ausgezeichneten Wechsel von Längs- und Querstrecken (nach dem Schema von Fig. 45) zerlegt worden. Wo die Flüsse schiffbar sind, wie dort, sind diese gebrochenen Diagonalthäler von der grössten Wichtigkeit, weil sie eine Verbindung der entlegensten Gebirgsgegenden mit den Mündungsgebieten der Ströme herstellen.

Man kann die hier dargestellten Bildungen als epigenetische Erosionsthäler bezeichnen. Wahrscheinlich liegen sie mehreren von denjenigen Fällen zu Grunde, wo ein Fluss eine Gebirgsschwelle durchbricht, welche höher ist als die Wasserscheide in seinem Ursprungsgebiete, oder wo ein Fluss überhaupt sein Bett durch einen Gebirgszug oder eine einzelne Erhebung gesägt hat, während sich ihm daneben scheinbar ein niedriger Ausweg geboten hätte, oder wo er in ein festes Gestein eingeschnitten ist, während daneben lagerndes weiches Gestein ihm geringern Widerstand entgegengesetzt haben würde. Denn es können im Unterbaue Unebenheiten bestehen, welche sich an der Oberfläche der transgredierenden Schichten gar nicht ausprägen. Ist die letztere, wie in Fig. 52, von *a* nach *b* geneigt, so wird bei der Trockenlegung das Gefälle nach dieser Richtung stattfinden. Indem der Fluss sich tiefer einschneidet, wird er sein Bett durch den Rücken *m m* hindurchgraben. Wenn dann gebirgsbildende Kräfte den Unterbau mit dem Reste der transgredierenden Schichten umgestalten, können entweder

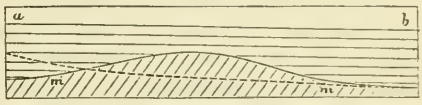

Fig. 52.

neue Abflussverhältnisse geschaffen werden, oder die Flüsse können wenigstens zum Teile in ihren Kanälen beharren und sich während der allmählichen Emporwölbung des Gebirges tiefer eingraben. Es ist wahrscheinlich, dass viele Gebirgsthäler von abnormer Anlage ursprünglich epigenetisch gewesen sind. Die Möglichkeit einer solchen Entstehung mit später hinzugetretenen grossen Komplikationen erscheint z. B. für die grossen Querthäler des Himalaya nicht ausgeschlossen. Bekanntlich fällt in dem grössten Teile desselben die Hauptwasserscheide der Ströme der Südseite nicht mit der Hochgipfelkette zusammen, sondern liegt hinter derselben in Ketten von geringerer Höhe. Die Flussbecken zwischen den letzteren und der von den Strömen durchbrochenen Hochgipfelkette sind grösstenteils in mächtige, durch Faltung nur wenig gestörte Ablagerungen versteinerungsreicher Sedimentschichten eingesenkt. Die Gewässer könnten sich durch deren ehemals zusammenhängende Decke hindurch, bei südwärts gerichtetem Gefälle, in die darunter befindlichen Teile der Hochkette eingeschnitten und, nachdem sie einmal in diese Kanäle gebannt waren, ihre Lage trotz aller späteren Störungen beibehalten haben. Zwar hätten durch das Emportreiben der Hauptkette die Oberläufe zeitweilig gestaut werden müssen, und einzelne grössere Verebnungen mögen in der That die Ueberreste davon sein; aber durch die von unten nach oben rückschreitende Erosion würde die Tendenz zum Anzapfen und tiefern Ausfurchen der gestauten Teile vorhanden sein. Für diese Erklärung dürften sich bessere Argumente bieten als für die zweierlei Annahmen: einerseits, dass das Emporsteigen der Hauptgipfelkette quer gegen den Lauf der Flüsse für sich allein ausreichend gewesen sei, um das Einschneiden der Flüsse in sie zu ermöglichen (§ 89), andererseits, dass die grossen Querthäler des Himalaya allein durch rückschreitende Erosion von der Wetterseite her (§ 72) entstanden seien.

8) Einfluss der Gesteinszerklüftung.

§ 82. Wenn die durch Regen und schmelzenden Schnee gebildeten Rieselwässer den Richtungen der stärksten Neigung zu folgen bestrebt sind, werden sie durch vielerlei geringe Hindernisse abgelenkt. Ausgewitterte Kristalle, kleine Quarzgänge, der Härtewechsel der Schiefergesteine beeinflussen die Wege der

beginnenden Erosion. Dazu kommen die Klüfte des Gesteines, sowohl diejenigen, welche durch die Verwitterung erkennbar werden (§ 42), wie die latenten, welche das eindringende Wasser aufzufinden und bei eintretender Frostwirkung auszuweiten vermag (§ 41). Am besten kann man auf freiliegenden geneigten Schichtflächen zerklüfteter Schiefer beobachten, wie die Rieselwasser die dadurch vorgezeichneten, oft sehr winkligen Bahnen benutzen. Je grösser die Kraft des Wassers, desto mehr überwindet es diesen Einfluss, um von demjenigen des Gefälles in höherm Grade geleitet zu werden. Je enger und gleichmässiger das Zerklüftungsnetz, desto mehr folgen die strömenden Wasser gewissen Durchschnittsrichtungen. Je weiter auseinander die Klüfte liegen, und je mehr darin gewisse Richtungen vorwalten, desto mehr bestimmen sie den Verlauf der Erosionsrinnen. Wasserreiche Bäche und kleine Flüsse lassen diese Einwirkung oft noch sehr deutlich erkennen. Es ist gezeigt worden (§ 46), wie die blockförmige Zerklüftung und Verwitterung der eruptiven Granite den sich sammelnden Rieselwassern, falls hinreichendes Gefälle vorhanden ist, bestimmte Bahnen zur Erosion anweist, und dadurch ein Blosslegen und Anhäufen der Blöcke stattfindet. Die tiefste Erosionsrinne, welche die anderen in sich aufnimmt, kann dadurch eine winklige Gestalt erhalten und diese noch in einem vorgeschrittenen Stadium der Austiefung, wenn auch in abgeschwächter Form, bewahren.

Dasselbe gilt in noch höherm Masse von horizontal gelagertem, dickbankigem Sandsteine, besonders wenn die vertikalen Klüfte nach zwei sich kreuzenden Richtungen angeordnet sind, und einzelne, weit auseinander liegende sich durch vollkommenere Sonderung der Kluftwände auszeichnen als andere. Ist ein solches Tafelland durch einen Steilabsturz abgeschnitten oder von einer tiefen Stromrinne durchzogen, sodass den abfliessenden Gewässern tiefliegende Zielpunkte gegeben sind, so sieht man ganze Systeme winkliger Kluftrinnen sich zu wenigen grösseren, auch noch streckenweise der einen und der andern Kluftrichtung folgenden, tief eingeschnittenen Bächen vereinigen, und es entstehen die durch enge, gewundene, zuweilen fast rückläufige Schluchten getrennten Kastellformen, von denen einige Beispiele in § 75 genannt wurden. Sie sind der Grundtypus mancher Schichtungstafelländer, besonders von Sandstein, vorwiegend in denjenigen Teilen, welche den grösseren Strömen zunächst gelegen sind.

Auch dieses Phänomen sollte zunächst dort studiert werden, wo es im kleinsten Massstabe auftritt; es wird dann leicht sein, die Erfahrungen über den Einfluss der Zerklüftung auf den Gang und die Wege der Erosion auf grössere Erscheinungen anzuwenden, welche in § 95 dargestellt sind.

D. Sedimentablagerung durch fliessende Gewässer.

Flüsse führen festes Gesteinsmaterial von höheren nach tieferen Gegenden, mit der Tendenz, es in den Niederungen oder dem Meere abzulagern. Der Weg kann kurz oder lang sein, und der Vertikalabstand, um den es abwärts getragen wird, kann ebenfalls sehr verschieden sein. Einzelne Gesteinsteilchen legen den ganzen Weg, andere nur einen kleinen Bruchteil desselben zurück. Man kann zunächst die Ablagerungen in fliessendem von denjenigen in stillstehendem Wasser und unter den ersteren wiederum eine Reihe von Stadien unterscheiden.

1) Ablagerung in bewegtem Wasser.

§ 83. a. Schutthalden. Der Gebirgsschutt wird durch Spaltenfrost (§ 41) und Verwitterung (§§ 42—48) geliefert und durch Abspülung der Gehänge (§ 73) zusammengetragen. Das Wasser sinkt ein: es fehlt ihm die Kraft zum Fortschaffen. Jahrhundertelang kann der Schutt an einem Abhange angehäuft werden, bis fliessendes Wasser, indem es sein Bett dorthin verlegt, ihn untergräbt und fortführt. Wo dieses nicht hinkommt, bleibt der Schutt liegen; nur Eis vermag ihn gänzlich fortzuschaffen (§ 105). Die grössten Anhäufungen von Gebirgsschutt finden sich in den Gebirgsregionen der Centralgebiete. In gewissermassen latentem Zustande ist er in den Ländern der regionalen Zersetzung (§ 48) aufgespeichert.

b. Schuttkegel. Die Wildbäche des Hochgebirges nehmen den Gebirgsschutt und den ihnen von Gletschern überlieferten Moränenschutt hinweg, bewegen ihn, besonders in Zeiten vermehrter Wassermasse, schiebend und rollend in ihren Betten hinab und lagern ihn ab, wo ihr Gefälle und damit ihre Tragkraft abnimmt; das ist am Ende ihres Erosionskanals. Die Gestalt der Schutthäufung ist, wenn Raum zur seitlichen Ausbreitung vorhanden ist, diejenige eines in Form eines halben Kegelmantel gekrümmten Fächers. Die Höhe derselben richtet sich teils nach der Masse des zugeführten Materials, teils

nach dem Raume, welcher zu senkrechter Aufschichtung vorhanden ist. Daher trifft man die höchsten Schuttkegel dort, wo ein sehr steiles oder senkrechtes Gefälle plötzlich in sehr geringes übergeht: z. B. an solchen Stellen, wo in der Erosion zurückgebliebene und stark transportierende Wildbäche kaskadenartig in einen ebenen Thalboden münden. Der Neigungswinkel des Schuttkegels kann im obersten Teile bis zu 30^0 betragen und nimmt nach unten ab. Das Wasser des Wildbaches nimmt seinen Lauf in radialen, häufig wechselnden Rinnen. In vielen Fällen versinkt es bei gewöhnlichem Wasserstande im Schutte, um sich bei höherm Stande um so machtvoller über die Oberfläche hinabzustürzen und derselben neues Material zuzuführen. Die Schneeschmelze ist die günstigste Jahreszeit für die Vergrösserung der Schuttkegel. Aussergewöhnliche Fluten erhöhen sie so bedeutend, dass sie dann durch eine lange Periode ruhen und mit Moos und Wald überwachsen sein können. Ein interessantes Objekt für eingehende Studien bilden die Schuttkegel besonders in den Hochgebirgen der abflusslosen Centralgebiete, z. B. am obern Indus und im Great Basin.

c. Fortbewegung im Flussbette. Schuttkegel sind oft in grosser Zahl zu den Seiten eines Thales angeordnet, in dem ein grösserer Fluss seinen Lauf nimmt. Wenn die Seitenbäche anschwellen, führen sie ihm selbst das Material ihrer Schuttkegel zu; doch greift er die letzteren auch durch eigene Thätigkeit der Reihe nach an, wenn er seine Windungen nach rechts oder links verlegt, unterwäscht sie und nimmt ihr Material auf. Hat er keine genügende Kraft, so füllt sich sein Bett mit Schutt an; das ganze Thal kann davon eingenommen werden. Ist aber die Tragkraft hinreichend, so wälzt der Fluss den Schutt mit sich fort und zerkleinert ihn durch Abrollen. Hat er noch Erosionsstrecken, so vertieft er sie durch Korrosion mittelst des Schuttes. Solange seine Geschwindigkeit hinreichend ist, um Schutt zu transportieren, ist allgemeine Zermalmung des Materials die Tendenz.

d. Dejektionskegel. Die Dejektionskegel, welche die Ströme dort aufwerfen, wo ihr Gefälle sich stark vermindert, wie bei dem Austritte aus einer Erosionsfurche des Gebirges in eine ebene Thalweitung oder in ein offenes Flachland, unterscheiden sich nur dem Grade nach von den Schuttkegeln der Wildbäche. Die Aufschüttung beider erfolgt nach dem gleichen Gesetze: Der Fluss lässt in dem Masse, als seine Tragkraft

mit der Verminderung des Gefälles nachlässt, erst das noch mitgeführte gröbere Material, dann, nach abnehmender Korngrösse, das feinere fallen; dadurch wird sein Bett über die Umgebung erhöht; er tritt über und lagert Sedimente auf die Ränder, die ebenfalls erhöht werden; schliesslich durchbricht er diese und nimmt einen neuen Lauf. Da die Divergenz jedes neuen Laufes nicht höher beginnt als an der Stelle, wo der Fluss den steilern Gebirgslauf verlässt und zugleich Raum für die seitliche Ausbreitung gegeben ist, so ist auch in diesem Falle das Streben nach der Ausbildung der Gestalt eines Fächerkegels vorhanden. Gleichzeitig mit der Korngrösse nimmt von dem Scheitel aus der Neigungswinkel allmählich ab. Indem an diesem (von *n* nach *s*, Fig. 26, § 66) die grösste Erhöhung stattfindet und das untere Ende des Erosionskanals allmählich zurückschreitet, verlängert sich der Scheitel rückwärts in die Thalsohle hinein, in der nun der grobe gerundete Schotter liegen bleibt. Andererseits wächst mit der Zeit die Neigung des Dejektionskegels und damit die Tragkraft des Flusses in dessen Gebiet; er schafft das gröbere Material weiter hinab. Hochfluten reissen ihm schliesslich ein tieferes Bett durch den Kegel hindurch.

Diese Vorgänge sind sehr mannigfaltig und bieten Gelegenheit zur Beobachtung an jeder Stelle, wo in einem Flusslaufe ein Wechsel von stärkerm zu schwachem Gefälle stattfindet. Jede Ablagerungsstrecke ist, auch wenn sie auf das Flussbett beschränkt ist, ein in der Ausbildung behinderter Dejektionskegel. Besonders sind Beobachtungen wünschenswert über das gegenseitige Verhältnis von Wassermasse, Gefällswinkel, Horizontalausdehnung der Ablagerung, sowie Neigungswinkel und Korngrösse derselben.

e. Alluvialkegel. Wenn ein durch weites, flaches Land fliessender Strom sich selbst überlassen ist, so breitet er, mit oftmals wechselndem Laufe, die feinen Sedimente, Sand und erdigen Teile, durch Ueberschwemmung zu seinen Seiten aus. Er schiebt den Sand im Flussbette fort und lagert ihn bei Hochwasser auf seinen Ufern ab, die dadurch erhöht werden, während die erdigen Teile im Ueberschwemmungswasser suspendiert sind und auf dem ebenen Boden abgesetzt werden. Es waltet aber die Tendenz fort, je weiter hinab und je weiter von dem jeweiligen Flusskanale entfernt, desto feineres Material niederzuschlagen; zugleich nimmt dessen Menge nach beiden

Richtungen ab. Es werden dadurch die ausgedehnten Alluvialebenen im Unterlaufe grosser Ströme geschaffen. Scheinbar eben, wiederholen sie doch die Gestalt des Dejektionskegels, wenn auch die Höhendifferenzen oft gering sind. Ist ein Strom noch nicht durch Dämme in bestimmte Kanäle gezwängt, so übt er seine Herrschaft über den Alluvialkegel ungehindert aus. In Windungen zieht er hindurch. An der konvexen Seite jeder Windung findet Loslösung der Sedimente und Vorschieben der Kurve nach aussen statt, bis sie sich mit einer andern Kurve berührt und dadurch der Strom freiere Bahn bekommt. An konkaven Krümmungen geschieht Ablagerung, oft mit sehr verwickelten Schichtungsverhältnissen. Hier und da wird das alte Bett verlassen und ein neuer Kanal eingeschlagen. Wenn dies von dem Scheitel des Kegels aus geschieht, so können sich durchgreifende Aenderungen vollziehen. Der Gelbe Fluss bietet dafür das grossartigste Beispiel. — Die Gesetze der auf stete Aenderung gerichteten Vorgänge im Flachlandlaufe der Ströme sind einfach, die Erscheinungen oft kompliziert; in vielen Fällen ist es von Interesse, sie im einzelnen zu verfolgen.

2) Ablagerung in Seen.

§ 84. Wo immer ein Fluss in einen hinreichend grossen Süsswassersee mündet, fällt das gesamte von ihm getragene feste Material zu Boden, das Gröbere schnell und in der Nähe der Einmündungsstelle, das Feinere langsam und zum Teil in weiterer Entfernung; die lakustrinen Ablagerungen aus einem schotterführenden und aus einem nur zum Transporte von Sand fähigen Flusse unterscheiden sich dem Grade nach ebenso, wie ein Schuttkegel und ein Dejektionskegel. Während jedoch bei den beiden letzteren das Gröbere allein sogleich niederfällt und geringe Spuren von Schichtung zeigt, die Kraft des Stromes aber das Feinere weiterführt, wird diese bei der Einmündung in einen See sofort so abgeschwächt, dass von Anfang an Material von allen Korngrössen niedersinkt und ein Unterschied nur einerseits dadurch hervorgebracht wird, dass das Gröbste am schnellsten niederfällt und das Feinere langsam nachsinkt; andererseits dadurch, dass ersteres ausschliesslich in der Nähe der Einflussstelle bleibt, letzteres hingegen, da eine Verschiebung der ganzen Wassermasse gegen die Abflussstelle hin stattfindet, grössere Ablagerungsareale einnimmt, deren Ausdehnung mit der Feinheit des Korns zunimmt. Es entstehen dadurch eigentüm-

liche Ablagerungsgebilde, die von allen anderen abweichen. Am meisten typisch sind sie dort, wo schotterführende Flüsse in Gebirgsseen münden (s. Fig. 53). Folgendes sind ihre Eigenschaften:

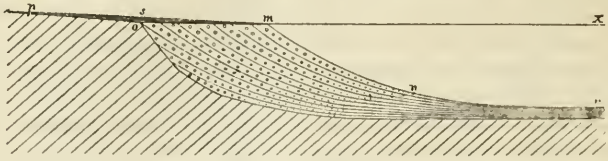

Fig. 53.

1) Der Schotter lagert sich von Anfang an in geneigten Schichten ab, wie auf der Sturzhalde eines Bergwerks, und lässt jede Periode der Steigerung der Transportkraft des fliessenden Wassers erkennen, indem die Zeiten niedern Wasserstandes durch Zwischenschichten von Kies und Sand bezeichnet sind. Der Neigungswinkel der Schotterschichten beträgt zuweilen 30—35 °.

2) Die steile Neigung bildet den obern Teil einer nach oben konkaven Kurve (*m n r* der Figur), deren Gestalt mit der Abnahme der Geschwindigkeit, mit welcher die weiter in den See getragenen Sedimente niederfallen, in Verbindung steht. Auf dem centralen Teile des Bodens grosser Seen findet sehr geringer Niederschlag thoniger und glimmeriger Teilchen in wesentlich horizontalen Schichten statt.

3) Die Oberfläche des lakustrinen Schotterkegels (*o m*) ist eben und wächst im Niveau des Seespiegels nach Länge und Breite fort. Der Widerstand, welchem das schnellbewegte Flusswasser begegnet, beginnt daher dort, wo dieses die Oberfläche von jenem erreicht. Infolgedessen lagert sich Flussschotter in beinahe horizontalen Schichten den Schichtenköpfen der Sturzhalde auf. Der Fluss wird gestaut und verzweigt sich deltaartig auf der gegen den See geneigten Oberfläche seiner eigenen Ablagerungen. Die letzteren sind bei dem Anschwellen des Flusses Ueberschwemmungen ausgesetzt, werden dadurch mit feinerm Materiale bedeckt und beginnen durch Bodenvegetation verfestigt zu werden. In der Figur ist mit *p o* der Boden des Flussbettes, mit *p s m* der auf dem lakustrinen ruhende fluviatile Schuttkegel, auf welchem die Deltaverteilung stattfindet, bezeichnet, während *m x* den Seespiegel darstellt.

Die Abdachung des Bodens, welcher an der Stelle der Einmündung eines Flusses in einen Gebirgssee entstanden ist, ist daher keineswegs ein Beweis für die Tieferlegung des Abflusses, sondern muss sich in jedem Falle mit Notwendigkeit vollziehen. Lehrreiche Beispiele bietet jeder Alpensee. Erst wenn der Fluss durch seine Deltaschicht hindurch in die geneigten lakustrinen Ablagerungen eingeschnitten ist, ist der Beweis für eine Erniedrigung des Seespiegels gegeben. In die meisten Gebirgsseen münden mehrere Flüsse. Jeder schiebt seine geschichtete Schutthalde und deren sanftgeneigte, deltaartig von dem Flusse durchströmte, sich abdachende Decke horizontaler Flusssedimente seewärts vor. Dieselben wachsen in Gruppen zusammen und haben die Tendenz, schliesslich den ganzen Raum des Sees einzunehmen.

Was von Gebirgsseen und schotterführenden Flüssen gilt, lässt sich auf diejenigen Seen anwenden, welche in flacherm Lande liegen und von Flüssen gespeist werden, die nur Sand und feinere Stoffe zu transportieren im stande sind. Die Unterschiede werden wesentlich in den Neigungswinkeln vorhanden sein.

Die Beobachtung kann nach verschiedenen Richtungen geschehen. Erkundung historischer Thatsachen kann, mit Messung vereint, über die Schnelligkeit des Anwachsens des in den See vorgeschobenen Bodens Aufschluss geben. Die Neigungswinkel der Halden, insbesondere die Gestalt der Kurve von der Flussmündung nach dem Seegrunde, sollten durch sorgfältige Lotungen festgestellt werden. Wenig verwertet sind die Gesichtspunkte, welche sich bei Binnenseen bieten, deren Niveau Schwankungen unterworfen ist. Steigt dasselbe, so sollten die horizontalen Schichten von geneigten Seeschichten überlagert werden, und auf deren Haldenfläche sich ein zweites horizontales System niederschlagen. Fällt es, so müsste der in die lakustrinen Schichten eingeschnittene Fluss dem See in verstärktem Masse neues Material zuführen und hier einen Schuttkegel mit tieferliegender Oberfläche aufwerfen. Dieselbe Abstufung würde sich in den Deltaschichten zeichnen und könnte sich bei fortgesetzter Erniedrigung des Seespiegels mehrere Male wiederholen.

Wo ein gänzlich ausgefülltes Seebecken später durch die Erosion eines Flusses durchschnitten wird, kann man die eigentümliche Lagerung beobachten. Man findet zuweilen in einer Gegend, welche keine Störungen erlitten hat, sehr jugendliche

Schichten von Schotter, Sand und Thon mehrere tausend Fuss mächtig beständig unter Winkeln von 12^0—20^0 und mehr geneigt und oben durch eine Ebene abgeschnitten. In solchen Fällen hat man es mit einer alten Seeausfüllung zu thun (s. a. § 209).

3) Hochflutseen.

§ 85. Einige grosse Ströme, bei denen die Differenz zwischen höchstem und niedrigstem Wasserstande beträchtlich ist, haben zur Seite umfangreiche Depressionen, welche zur Zeit des niedrigen Wassers von einem oder mehreren Zuflüssen durchströmt, zur Zeit des Hochwassers dagegen in Seen verwandelt werden, indem ein Teil des Wassers aus dem Hauptstrome, mit dem am Abflusse verhinderten der Nebenflüsse vereint, das Becken anfüllt. Die grössten derartigen Becken sind der Tungtingsee und Poyangsee in China, an der Südseite des Yang-tszĕ-kiang. In kleinerm Massstabe besitzt sie der Amur. Solange sie als Seen bestehen, findet eine beinahe vollständige Klärung der einströmenden Gewässer, daher, wenn diese (wie in China) bedeutend sind, eine sehr erhebliche Ablagerung statt. Während der Zeit des niedrigen Wasserstandes hingegen wird ein Teil dieser Sedimente dem Hauptstrome zugeführt. Der Rest ist dem Winde preisgegeben, welcher den lockern Boden umherwirbelt, die thonigen Bestandteile entführt, die sandigen zurücklässt oder in die Flusskanäle treibt. Trotzdem sollte man voraussetzen, dass diese Seen in einigen Jahrtausenden hätten ausgefüllt werden müssen. Ihre fortdauernde Existenz ist daher ein mit der Geschichte der Ströme eng verbundenes Problem, welches eines aufmerksamen Studiums aller einschlägigen Umstände wert ist (s. auch § 116).

4) Ablagerungen in Aestuaren.

§ 86. Jede Flussmündung ist durch einen Einschnitt in dem Relief, keineswegs immer durch einen solchen in der Umrisslinie der Küste bezeichnet, doch würde der letztere oft durch eine Versenkung von wenigen Metern veranlasst werden. Der Einschnitt ist, wie jedes Thal, entweder im innern Bau begründet, oder er ist allein das Werk früherer Erosion durch den Strom. Der letztere kann sich, wie es bei Steilküsten häufig der Fall ist, unmittelbar aus seiner Erosionsfurche in das Meer ergiessen; die Verhältnisse werden dann einige Analogie mit der Ein-

mündung eines Gebirgsbaches in einen See bieten. In anderen Fällen durchströmt der Fluss ein mehr oder weniger weites Alluvialland, ehe er das Meer erreicht. Häufig nimmt das Mündungsgebiet einen viel grössern Raum ein, als für die Wassermasse des Stromes erforderlich ist; dann dringt das Meer ein und macht das Wasser brakisch.

In allen diesen Fällen trägt der Fluss diejenigen festen Stoffe, welche ihm noch geblieben sind, entweder in stillstehendes oder in selbständig und in anderer Weise bewegtes Wasser hinein. Die Ablagerungen aber vollziehen sich ganz anders als bei der Einmündung in einen Süsswassersee. Denn im Meereswasser sinken die fein verteilten festen Stoffe mit einer Geschwindigkeit zu Boden, welche ungefähr fünfzehnmal so gross ist als diejenige im Süsswasser.*) Schon der brakische Charakter des Wassers der Aestuare übt auf die Schnelligkeit der Klärung einen grossen Einfluss. Ein anderer modifizierend eintretender Umstand wird bei Meeren mit Ebbe und Flut dadurch herbeigeführt, dass die Stellen des Kontaktes zwischen dem herabfliessenden und dem stillstehenden oder sogar entgegenströmenden Wasser, daher auch die Stellen intensivster Ablagerung, beständig den Ort wechseln. Besonderheiten von Fall zu Fall werden ausserdem eintreten nach der Wassermasse des Flusses und seiner Sedimentführung, nach der Höhe von Ebbe und Flut und nach den Strömungen des Meeres. Wo die Gezeiten stark und Küstenströmungen vorhanden sind, wird das Aestuar von dem Ebbestrome gefegt, die Sedimente werden fortgetragen, die thonigen nach dem Meere hinaus, die sandigen nur bis an die Aussenseite des Aestuars, wo sie sich anhäufen und die für die Schiffahrt so hinderlichen Flussbarren bilden. Letztere wachsen nicht bis an die Oberfläche, da das aus- und einströmende Wasser die oberen Teile verschiebt und an den Breitseiten ablagert, ändern aber häufig Gestalt und Lage. In dem abgesperrten Aestuare

*) Dies ist allerdings nur ein allgemeiner Wert. Die Untersuchungen von W. H. Brewer (*Mem. Nat. Acad. of Sciences*, vol. II, p. 165 ff., Washington 1884) haben zu bemerkenswerten Ergebnissen geführt. Sehr feinerdige Stoffe sinken im Meerwasser in 30 Minuten vollständiger zu Boden als in Süsswasser in 30 Monaten. Die ersten Untersuchungen über den wichtigen Gegenstand wurden schon 1838 von W. H. Sidell (*Reports on the hydraulics and physics of the Mississippi*) veröffentlicht, sind aber wenig beachtet worden.

finden nun unter dem Kampfe des Süsswasserstromes und der Meereswelle Absätze horizontaler Schichten von Sand und Schlamm statt, welche eine brakische Fauna umschliessen. Sie kommen hier und da in Bänken an die Oberfläche, und diese haben verschiedene Gestalt. Dominiert der Süsswasserstrom, so kehren die Bogenlinien der Oberfläche der Bänke ihre konkaven Seiten dem Oceane zu; dagegen haben sie ihre konvexe Seite gegen das Meer gerichtet, wenn dessen Bewegung überwiegenden Einfluss ausübt. Diese für die Aestuare charakteristischen Krümmungen der Sandbänke sollten beobachtet und in ihren Wandlungen studiert werden. Ueberhaupt bieten die Sedimentbildungen in Flussmündungen viel Stoff zur Untersuchung, besonders angesichts der angeführten, noch wenig berücksichtigten Thatsache. In manchen Fällen haben genaue Aufnahmen eine gänzlich unter dem Wasserspiegel gelegene, vollkommen deltaartige Divergenz und Verzweigung der Strömungskanäle erwiesen.

5) Deltabildung.

§ 87. Ein ruhigerer Absatz der Sedimente als in dem erwähnten Falle findet dort statt, wo die Gezeiten gering sind und Strömungen entweder fehlen oder nur ausserhalb der Flussbarren vorhanden sind. Das Aestuar füllt sich dann von seinem Ursprunge aus mit Sedimenten an; der Strom nimmt eine bestimmte Richtung, und die gleichzeitig an der Grenze mit dem verhältnismässig stillstehenden Meereswasser entstehenden Flussbarren können sich bis über dessen Niveau erhöhen. In ähnlicher Weise wie diese begünstigen dort, wo Ebbe und Flut vorhanden sind, vorgeschobene Küstenwälle (§§ 155, 156), welche die Aussenwinkel einer Trichtermündung verbinden und nur Raum für den Ausfluss des Stromes lassen, die Deltabildung. Indem sie sich gewöhnlich mit Dünen bedecken, sperren sie einen seichten See ab, in dem die Kraft des Süsswasserstromes sich bricht. Was er an Geschwindigkeit verliert, muss er an Breite zu gewinnen suchen. Dadurch und wegen der Mengung mit eintretendem Seewasser lässt er auch die feinsten Sedimente zu Boden fallen. Beide Tendenzen haben zur Folge, dass der Fluss sich in Arme teilt, die durch Alluvialinseln getrennt werden. Die periodische Aenderung der Wassermasse und der Wechsel von Ebbe und Flut veranlassen die Verlegung der Stellen der Divergenz. Bei höherm Wasserstande wird das

flache Deltaland überschwemmt und erhöht, am meisten an den Ufern der Kanäle, während gleichzeitig in diesen selbst der Boden an den Stellen, wo sich dem strömenden Wasser die grössten Widerstände darbieten, durch Ablagerung wächst. Infolge derartig kombinierter Vorgänge vollziehen sich in den Deltas vielfache Aenderungen.

Nachdem das Aestuar mindestens entlang einer kontinuierlichen Zone bis zum Küstenwalle ausgefüllt ist, beginnt die Bildung eines zweiten Delta ausserhalb desselben. Man kann daher ein inneres und ein äusseres oder ein Aestuardelta und ein marines (vorgeschobenes) Delta unterscheiden. Die Anschwemmungen schieben sich in letzterm unter weit stärkerm Kampfe gegen das offene Meer vor, werden aber andererseits begünstigt durch den schnellen Niederschlag im Salzwasser. Der Ausgangspunkt des marinen Delta ist der Ort, an welchem der Fluss den Küstenwall durchbricht. Indem er von da aus radiale Wege einschlägt, erhält das marine Delta, wenn es sich frei auszubilden vermag, eine konvexe äussere Begrenzung. Die Ablagerungen sind feiner und gleichmässiger als im Aestuardelta, und es ist viel längere Zeit für die Aufschüttung erforderlich, umsomehr, als die marinen Deltas der Zerstörung ausgesetzt sind.

Die eingehenden vergleichenden Untersuchungen, welche Rudolph Credner über die Morphologie der Deltas angestellt hat,*) haben die Bedeutung einzelner Faktoren bei ihrer Bildung hervortreten lassen; doch ist auch gerade aus ihnen zu ersehen, wieviel hier der Forschung zu thun bleibt und wie zahlreiche Gesichtspunkte für die Betrachtung sich darbieten.

Als günstige, aber nicht erforderliche Bedingungen für die Deltabildung haben sich erwiesen: Geringe Meerestiefe, geringe Gezeiten, Mangel an Strömungen oder geringe Kraft derselben und negative Niveauverschiebung. Doch kann reichliche Sediment-

*) R. Credner: Die Deltas, Ergänzungsheft Nr. 56 zu Petermanns Mitteilungen, 1878. Das Studium dieser Arbeit, in welcher mit ausserordentlicher Gründlichkeit die Deltabildungen morphologisch und genetisch unter zahlreichen Gesichtspunkten behandelt sind, ist für jeden, welcher in den Fall kommt, irgend ein Flussdelta zum Gegenstande besonderer Untersuchung zu machen, unerlässlich. — Wer einen Aufenthalt von Jahren in einem Deltalande zu Beobachtungen benutzen will, findet u. a. einen Anhalt in der mustergültigen Monographie von R. Gordon: *Report on the Irawaddy River*, Ranggoon 1879, folio, mit einem Atlas.

führung eines Flusses die hemmende Wirkung einer positiven Verschiebung der Strandlinie aufheben und, wenn die Bedingungen sonst für den Niederschlag der festen Stoffe günstig sind, den Sieg über dieselbe davontragen. Begünstigend wirkt auch das Herabschwemmen von Baumstämmen, die auf dem Schlamme haften bleiben und die Ansiedlung der Vegetation erleichtern, dann die wuchernde Mangrove-Vegetation (§ 33). Endlich leistet der Mensch der Deltabildung in ausserordentlichem Masse Vorschub durch die Eindämmung der Ströme, welche die Sedimente den Alluvialebenen, denen sie rechtmässig zukommen, entziehen und sie in das Meer hinaussenden. Besonders wird das Wachsen der marinen Deltas dadurch befördert.

Bei der Untersuchung von Deltabildungen befindet sich der Reisende gewöhnlich in der vorteilhaften Lage, dass ihm sehr genaue Karten mit Angabe der Tiefenverhältnisse zu Gebote stehen. Er kann daher seine Aufmerksamkeit auf die Erscheinungen selbst konzentrieren. Ueber sehr wenige Deltas liegen eingehende Untersuchungen vor (Nil, Mississippi, Po, Rhein, Rhone, Ganges, Irawaddy und einige andere). In jedem einzelnen Falle werden sich der Beobachtung eine Menge von Problemen darbieten. Stromgeschwindigkeit und Sedimentführung oberhalb der Spitze des Deltas, Art der Ablagerung in allen einzelnen Teilen, Gestalt und Zusammensetzung der Flussbarren oder des Küstenwalles, äussere Begrenzung des Delta, Verschiebung der Flussläufe in historischer Zeit, Tiefe der alluvialen Ablagerungen, Art der Unterlage; ferner die Wirkungen des Meeres, die Entfernung, bis zu der es stromaufwärts vordringt, die Differenz der Gezeiten und viele andere Umstände lassen sich nennen. An diese Untersuchung wird sich die Behandlung der Frage anknüpfen lassen, inwieweit die Alluvialebene, deren Ende das Delta bezeichnet, durch ein beständig fortschreitendes Vorschieben von Deltabildungen geschaffen worden ist. Es werden sich vielleicht im Innern des Landes alte Küstenwälle und Flussbarren finden lassen, welche den Beweis dafür abgeben. Wie an der Westküste Kleinasiens der Mäander und Kästros durch das Vorschieben ihrer Deltas ehemalige Meerbusen abgeschnürt oder ausgefüllt und dadurch Milet und Ephesus vernichtet haben, und wie der Hermos ein ähnliches Los für Smyrna vorbereitet, so mögen an manchen für die Geschichte minderwertigen Orten analoge Aenderungen der Küste durch denselben Vorgang verursacht worden sein.

Es kann ferner das Verwachsen verschiedener Deltas zu einem einzigen (Ganges und Brahmaputra; Donau und Dnjester: Rhein, Schelde und Maas) beobachtet werden, und dies leitet wiederum auf die Entstehung von Alluvialebenen durch ähnliche Verwachsung vorgeschobener Ablagerungsgebiete, wie sie bei der Ausfüllung von Gebirgsseen (§ 84) vorkommt.

Ein Gegenstand von besonderm Interesse betrifft die Bodensenkungen in Deltagebieten. Verschiedene Methoden führen zu ihrer Untersuchung. Selten bieten sich sichere historische Angaben über das Einsinken einzelner Gebiete, wie sie betreffs der Bildung des Zuydersees existieren. Häufiger wird man den Kontrast zwischen den Angaben über Hebung und Senkung beachten können, die zuweilen für ein Deltaland ausnahmslos zu Gunsten der „Senkung" lauten, während die Küste des dasselbe einschliessenden Gebirgslandes oft sichere Anzeichen von „Hebung" giebt. Auch können Brunnenbohrungen Aufschluss geben. Im Delta des Ganges fand man bis zur Tiefe von mehreren hundert Fuss in dem Deltaboden in mehreren Tiefen Spuren derjenigen Pflanzen und Tiere, welche jetzt im Delta leben.

Die Einmündungen von Flüssen in abflusslose Seen von schwankendem Wasserspiegel bieten vorzügliche Gelegenheit für das Studium von Deltabildung bei Abwesenheit von Gezeiten und Strömungen. Auch sollte man die deltaähnlichen Bildungen im Binnenlande beobachten, welche sich an manchen Stellen flacher Gegenden finden, wo grosse Ströme Zuflüsse aufnehmen. So finden sich besonders dort, wo ein Hauptstrom zur Erhöhung seines Alluviallandes durch Ueberschwemmungen neigt. Das Gefälle der Zuflüsse wird dadurch in ihrem Unterlaufe vermindert. Dazu kommt der Rückstau durch die periodisch angeschwollenen Gewässer des Hauptstromes. Die Zuflüsse teilen sich in Kanäle, breiten sich selbst seeartig aus, lassen ihre Sedimente zum Teile fallen und graben sich oft neue Rinnen, wenn das Wasser des Hauptstromes sinkt und dadurch das Gefälle vermehrt wird. Die in § 85 angeführten Hochflutseen sind mit derartigen Deltabildungen verbunden.

E. Wandlungen in der Arbeit fliessender Gewässer infolge veränderter Zustände.

§ 88. Die Betrachtung der mechanischen Arbeit des fliessenden Wassers zeigt, dass dieselbe in jedem Stromlaufe fortdauernd Aenderungen hervorbringt. In den vorhergehenden Paragraphen

wurde von der Voraussetzung ausgegangen, dass sich dem Strome gegebene Verhältnisse hinsichtlich der Gestaltung und Zusammensetzung der Oberfläche, über welche er fliesst, und der klimatischen Bedingungen darbieten. Diese Verhältnisse jedoch können selbst wieder gewisse Aenderungen erfahren, welche nicht von der aktiven Arbeit des Stromes bedingt sind, von welchen dagegen die Arbeitsfähigkeit des letztern gewissermassen passiv beeinflusst wird. Einerseits können ihm dadurch mechanische Hindernisse in den Weg gelegt werden, die ihn entweder zu deren Ueberwindung oder zur Verlegung seines Laufes zwingen, andererseits können durch Aenderung des Klimas Vorgänge eintreten, welche die Kraft des Stromes vermehren oder lähmen und seine Entwicklung befördern oder gänzlich still stellen.

Um diese Faktoren zu würdigen, muss man sich vor allem vergegenwärtigen: 1) dass die Flüsse so alt sind wie die Gebirge, von denen sie herabrinnen, in einzelnen Fällen sogar noch älter, da auf manchem trockengelegten Meeresboden Wasser in Rinnen floss, ehe er zu einem Gebirge aufgestaut wurde; 2) dass in der Regel die Entwicklung der Systeme des Wasserabflusses von oben begann und nach den tieferen Teilen fortschritt, sei es, dass eine unterseeische Bodenschwelle allmählich aus ihrer Wasserbedeckung auftauchte, oder dass sich durch die Wirkung innerer Kräfte eine Faltung auf dem bestehenden Festlande und die Bildung einer neuen Wasserscheide vollzog; 3) dass die Vertiefung der Stromfurchen in jedem Einzelfalle und in jedem einzelnen, vermöge des Gefälles zur Erosion geeigneten Teile von unten nach oben fortschritt; 4) dass die Entwicklungsgeschichte eines Gebirges mit derjenigen der von ihm herabfliessenden Gewässer innig verflochten ist, indem diese das Gebirge während der einzelnen Phasen seiner Entstehung fortdauernd umgestalteten, zugleich aber durch die Vorgänge bei der Gebirgsbildung häufig abgelenkt und in verschiedenartige Verbindung mit anderen Stromläufen gebracht wurden; 5) dass die grossen Ströme, welche die Gewässer aus dem Innern der Kontinente nach dem Meere tragen, ihre Wurzeln in verschiedenen Gebirgen haben, deren jedes eine besondere Entwicklungsgeschichte seines Abflusssystems gehabt hat, und dass der grosse Sammelstrom, der in der Regel Schritt für Schritt dem sich zurückziehenden Meere gefolgt ist, ein jüngeres Gebilde ist als die von ihm aufgenommenen Teilströme.

Dies sind die Grundanschauungen, welche man bei der Betrachtung der Entwicklungsgeschichte der Ströme, insbesondere der passiven Einflüsse, welche sie bestimmt haben, im Auge behalten muss. Der Gegenstand kann hier nicht erschöpfend behandelt werden; es möge genügen, den reisenden Beobachter auf einige der Vorgänge hinzuweisen, welche hindernd oder fördernd eingreifen können.

1) Schichtenfaltung.

§ 89. Wenn horizontal gelagerte oder schwach geneigte Schichten durch seitlich wirkenden Druck gefaltet werden, so entsteht in jeder Falte ein wasserscheidender Rücken, von dem die Gewässer nach beiden Seiten hinabfliessen. Da nun der ursprüngliche Abfluss des Wassers von einem aus dem Meere aufsteigenden Gewölbe in der Regel gerade herab von der Höhenlinie, mithin ungefähr rechtwinklig zu der sich allmählich zurückziehenden Grenzlinie des Meeres geschehen sein muss, die Höhenlinie aber in der Mehrzahl der Fälle einer geologischen Achse parallel gewesen sein wird, und die Faltungen ebenfalls meist dieser Achse parallel aufgestiegen sind, so muss sich der Fall sehr häufig ereignet haben, dass die sich bildende Längsfalte rechtwinklig gegen die in Querthälern herabkommenden Gewässer gerichtet war, und dass die in weiterer Folge entstehenden parallelen Falten dasselbe Verhältnis zu diesen hatten. Es wirft sich die Frage auf, ob der Fluss im stande war, sein Bett in die werdende Falte einzugraben und also seinen Lauf beizubehalten, oder ob er gestaut wurde und sich einen andern Ausweg suchen musste. In der Natur beobachtet man drei Fälle. Es kommt vor, dass ein Fluss nicht nur eine einzige, sondern eine Reihe von Falten ohne bemerkenswerte Ablenkung von dem Laufe, den er vor ihrer Bildung gehabt haben muss, quer durchsetzt. Weit häufiger ist der zweite Fall, dass der in einem Querthale von der Gebirgsachse herabkommende Fluss bei der Ankunft an der Falte in seinem Laufe innehält und in der durch sie gebildeten Längsmulde weiterfliesst, hier sich mit anderen, sich ähnlich verhaltenden Flüssen vereinigt und, durch ihre Gewässer verstärkt, an irgend einer Stelle die Falte in einem Querthale durchbricht. Der dritte Fall ist, dass ihm auch dies nicht gelingt und er seinen Lauf in dem Längsthale fortsetzt, bis er an einer niedern, durch Erosion vielleicht noch etwas vertieften Stelle entweicht.

Zur Erklärung des ersten und zweiten Falles nahm man früher Spaltenbildung zu Hülfe. Diese Theorie ist in dem damals vorausgesetzten Sinne klaffender Spalten nur in sehr wenigen Fällen haltbar, wenn auch Gesteinszerklüftung (§ 82) nicht selten die Durchbrechung eines Gebirges vorbereitet zu haben scheint. An ihre Stelle wurde von J. W. Powell die Theorie des Durchsägens aufsteigender Falten gesetzt, welche bald eine weite Annahme fand.

Die Theorie knüpft an das Uinta-Gebirge an, welches eine sich östlich an das von Nord nach Süd streichende Wahsatch-Gebirge anschliessende Aufwölbung von Schichtgebilden ist, deren Betrag auf 24 000 Fuss geschätzt wird. Der Green River, welcher östlich vom Wahsatch-Gebirge in einem ungefähr 1000 Fuss tief eingesenkten, von Nord nach Süd gerichteten Erosionsthale herabkommt, durchbricht das Uinta-Gebirge in seiner ganzen Breite, während er im Osten einen leichtern Weg gehabt haben würde. Powell *(exploration of the Colorado river of the West*, Washington 1875, p. 152 ff.) nimmt an, dass der Fluss vor der Aufwölbung des Gebirges existierte und hinreichende Erosionskraft besass, um in demselben Masse, in dem das Gebirge aufstieg, sich in dasselbe einzugraben, wie die in fester Lage befindliche Säge einer Sägemühle sich in den ihr entgegenbewegenden Stamm einschneidet. Da das Aufsteigen den Betrag von 24000 Fuss gehabt habe, so sei dies auch der Gesamtbetrag des Eingrabens gewesen. — Diese Theorie ist unter anderen von Dr. E. Tietze in seinen wichtigen Aufsätzen über die Entstehung der Querthäler mit Geschick verteidigt und auf eine Anzahl von Fällen angewandt worden. Man hat insbesondere durch sie alle diejenigen in § 81 angedeuteten Fälle erklären wollen, wo ein Fluss eine Kette, welche höher ist als seine Wasserscheide, quer durchbricht. Dagegen hat Dr. Löwl geltend gemacht, dass mit dem ersten Beginne der Faltung an der Seite, von der der Fluss herkommt, eine Horizontalität der Schichten eintreten müsste, welche die Verminderung der Stromgeschwindigkeit und den Absatz der Sedimente zur Folge haben und damit den Strom des Materials berauben würde, mit welchem er allein die Korrosion ausführen könnte; es müsste also in jedem Falle die Stauung des Wassers zu einem Klärungssee eintreten, und unter keinen Umständen könnte das Durchsägen des aufsteigenden Gebirges geschehen. Ob letzteres unter allen Verhältnissen unmöglich sei, dürfte erst durch weitere Untersuchungen über die Erosionskraft festzustellen sein. Ist diese Kraft sehr beträchtlich und das Anwachsen des stauenden Hindernisses sehr langsam, so muss die von Powell vorausgesetzte Wirkung eintreten: aber der berechtigte Einwurf von Löwl mahnt zu einer vorsichtigen Anwendung der Theorie. Die epigenetische Thalbildung (§ 81) führt zu demselben Resultat, und wo eine entschiedene Wetterseite vorhanden ist, kann der Durchbruch eines Flusses nach Löwls eigener Erklärung durch rückschreitende Erosion ermöglicht worden sein.

Für den ersten Fall liegen also verschiedene Möglichkeiten der Erklärung vor, und sie sind vielleicht noch nicht erschöpfend. Nur die genaueste Beobachtung kann bei der einzelnen Erscheinung dazu führen, einer von ihnen den Vorzug überwiegender Wahrscheinlichkeit zu geben.

Nicht geringere Schwierigkeiten bietet der zweite Fall, der in allen regionalen Faltungszonen weitaus überwiegend ist. In den Parallelzügen des Jura, in den Dinarischen Ketten, in dem Faltungsgebirge, welches das eranische Hochland im Südwesten von dem Tigristhale und dem Persischen Meere trennt, vor allem im südöstlichen China und im westlichen Hinterindien ist der Wechsel von Längsthälern und einzeln gestellten engen Querdurchbrüchen die Regel. Das Niedergehen epigenetischer Thalsysteme dürfte nur zuweilen eine hinreichende Erklärung bieten. Es ist zu beachten, dass, wenn auf einer schiefen Ebene Thalfurchen diagonal hinabziehen und eine Anzahl der Höhenachse paralleler Runzelungen sich so langsam bilden, dass ein Einsägen nach der Powellschen Theorie stattfinden kann, dabei eine ähnliche Zerlegung in Parallelstrecken in den Mulden und kurzen, schroffen Querstrecken durch die Falten stattfinden muss, wie in dem Falle, wo ein Fluss, welcher schief zur Stromrichtung geneigter Schichten von verschiedener Härte fliesst, sich in dieselben eingräbt (§ 79).

Von selbst erklärt sich der dritte Fall dadurch, dass der Fluss infolge der Faltung zu einem See gestaut wird, der seinen Abfluss über den niedrigsten Teil der Umgebung nimmt, und nun zuerst ganz mit Sedimenten ausgefüllt werden muss, ehe der abfliessende Strom es vermag, sich mit Material für die Vertiefung des Ausflusskanals durch Korrosion zu beladen. Es kann dadurch ein Fluss ganz von seiner frühern Richtung abgelenkt und einem Stromsysteme hinzugefügt werden, dem er vorher nicht angehörte. Veränderungen dieser Art haben sich in der Geschichte jedes Gebirges und seiner Abflüsse häufig zugetragen. Soweit sie einer jugendlichen Periode angehören, lassen sie sich häufig mit völliger Sicherheit nachweisen.

2) Tektonische Verschiebungen.

§ 90. Während die Aufwölbung einer Falte quer gegen die Bewegungsrichtung immer der Strömung ein Hindernis entgegensetzen wird, können Verwerfungen in verschiedenem Sinne wirken und die mannigfaltigsten Umgestaltungen herbeiführen.

deren Einzelerörterung hier zu weit führen würde. Es genügt, einen Blick auf die verschiedenen Formen der Verwerfung (Kapitel XV) zu thun.

Verläuft die Streichrichtung der Verschiebung quer gegen den Stromlauf, so wird ihr Einfluss davon abhängen, ob sie gleichsinnig oder widersinnig mit dem Gefälle des Flusses erfolgt. Gleichsinnig kann man sie nennen, wenn der Teil sinkt, nach welchem die Strömung gerichtet ist; dann wird das Gefälle örtlich verstärkt. Als widersinnig oder stauend lässt sich diejenige Verwerfung bezeichnen, bei welcher der Flusskanal so gebrochen wird, dass der Unterlauf höher zu liegen kommt. Vollzieht sie sich sehr langsam und sind die sonstigen Verhältnisse günstig, so kann, gerade wie bei dem Eintreten von Faltung, die erodierende Kraft eines mit starkem Gefälle herabkommenden Geschiebe führenden Flusses hinreichen, um ihr das Gleichgewicht zu halten und diesem das Einsägen in den (relativ) aufsteigenden Teil zu gestatten. Dies wird aber doch nur selten, unter besonders günstigen Umständen eintreten können, einerseits, weil die ansteigende Scholle als Gesamtheit höher zu liegen kommt als der absinkende Teil, andererseits, weil die Verwerfungen meist in Staffeln geschehen und ein ähnlicher Widerstand daher zu wiederholten Malen geboten werden würde. Ueberdies finden sich gerade die Ströme der grossen Regionalschollen, welche meist geringe Kraft haben, besonders häufig und oft in hohem Grade durch widersinnige Verwerfungen beeinflusst. Sie werden daher vielfach Ablenkungen erfahren haben, und diese müssen bei grosser Ausdehnung der Verwerfungsklüfte sehr beträchtlich sein. Es dürfte darin eine der Ursachen der Erscheinung zu suchen sein, dass durch Verwerfung entstandene hohe Mauerabfälle häufig von Strömen begleitet werden. Ein um so schwierigeres Problem bieten diejenigen Ströme, welche, wie der Rhein, ihren Lauf quer durch breitangelegte, widersinnig verworfene Gebirgsmassen nehmen.

In asymmetrischen zonalen Faltungsgebirgen findet auf der innern Seite vorwaltend gleichsinniges Absinken statt; daher wird die Ausbildung und das tiefe Einschneiden der Querthäler dort begünstigt. Auf der äussern Seite herrscht die Ueberschiebung. Mit derselben ist eine Vermehrung des Gesamtgefälles nicht notwendig verbunden. Die Hauptwirkung auf letzteres besteht vielmehr darin, dass es in einzelne Strecken

zerlegt wird, indem sich an jeder Unterschiebungsstelle ein Damm hinaufschiebt, welcher dem Gebirgsstreichen parallel ist. Es wird also auch ein Flusslauf, der sich in einem Querthale von dem Kamme nach dem Fusse des Gebirges hinabzog, in einzelne Strecken zerlegt werden und, falls seine Kraft zu dem Durchsägen der sich schief nach aufwärts schiebenden Teile nicht ausreicht, in jeder Strecke in das durch die Ueberschiebung gebildete oder durch sie vollkommener ausgestaltete tektonische Längsthal abgelenkt werden. Es wird mithin durch diese Ueberschiebungen die Ausbildung des Parallelismus von Höhenzügen und Thalzügen befördert und der Ausbildung von durchgehenden Querthälern entgegengearbeitet. Es wäre zu beachten, ob nicht die oben (§ 85) angedeutete Anordnung von Längs- und Querstrecken der Flüsse in solchen Gebirgen zum Teile darauf zurückzuführen ist, dass die in einer Längsmulde vereinigten Gewässer eine Bresche vorfanden, welche einem ältern Querthale entsprach. Denn je sorgfältiger solche aus parallelen Faltungen bestehende Gebirge untersucht werden, desto grösser stellt sich in der Regel die Rolle der auf Längsbrüchen stattgehabten Ueberschiebungen dar.

3) Stauende Aufschüttungswälle.

§ 91. Es kommt häufig vor, dass bedeutende Schuttmassen in den Weg eines Stromes quer vorgeschoben werden. Wenn dieser sie nicht in dem Masse als sie herankommen, fortzuschaffen oder eine plötzliche Anhäufung seitlich zu umgehen vermag, so wird er gestaut; seine erodierende Kraft ist alsdann oberhalb der Stelle auf Null herabgesetzt. Die Zuführung des Schuttes geschieht entweder durch Bergabrutschungen, und dann kann sie plötzlich einen ausserordentlich bedeutenden Betrag erreichen, oder durch Gletscher, die sich aus einem Seitenthale vorschieben und einen abschliessenden Riegel bilden, oder durch geschiebereiche Zuflüsse, die dem Hauptstrome einen Damm in den Weg bauen, oder durch Lavaströme.

Die erste Folge ist die Bildung eines Abdämmungsbeckens (§ 116) mit einem Stauungssee, in welchem das Wasser sich klärt. Es fliesst über den Damm hinweg, vermag auch zuerst noch, wenn das Material aus Schutt besteht, durch diesen zu sickern, bis es durch kalkige Cementierung oder durch Verkittung mittelst Schlamm sich die Wege selbst versperrt, und ist nun bestrebt, das Hindernis zu besiegen. Das Durch

schneiden eines Lavastromes geschieht am langsamsten, weil das Korrosionsmaterial vor der Ausfüllung des Sees sparsam vorhanden ist. Auch ein Gletscher kann lange stauend wirken, weil er sich von hinten nachschiebt. Der Schuttwall wird am leichtesten überwunden, weil die Kraft des an der Vorderseite herabstürzenden Wassers zur Ausfurchung durch einfaches Loslösen und Ausräumen hinreicht. Der Kanal wächst nach rückwärts und durchschneidet zuletzt die Ablagerungen, mit denen inzwischen der See ausgefüllt worden ist.

Diese Vorgänge spielen in der Geschichte der Gebirgsthäler eine bedeutende Rolle. Dr. Löwl hat durch genaue Untersuchungen gezeigt, wie sie in den Alpenthälern der Bildung von Gefällstufen in vielen Fällen zu Grunde liegen, indem die mechanische Arbeit des Wassers oberhalb des Dammes stillgestellt ist, unterhalb desselben hingegen nicht nur das Gefälle eine örtliche Vermehrung erfährt, sondern auch durch die Zerstörung der Schuttanhäufung das Korrosionsmaterial besonders reichlich vorhanden ist. Die Thalvertiefung kann daher hier weit vorgeschritten sein, ehe sie in der von dem Damme und den Sedimenten des Stauungssees bedeckten Strecke wieder beginnt. Es erklären sich in dieser Weise viel Thalstufen, die sich als von der Härte der Gesteine unabhängig erweisen.

Wie selbst in hohem Gebirge infolge von Stauung durch Schuttanhäufung das Quellgebiet eines Baches von dem Gehänge, an dem letzterer herabfloss, abgewendet und demjenigen der entgegengesetzten Seite zugeführt werden kann, hat Penck an den lehrreichen Beispielen des Achensees und Plansees gezeigt. Häufiger sind solche Fälle im Flachlande.

4) Aenderung des Klimas.

§ 92. Aus den meisten der vorhergehenden Erörterungen geht hervor, dass die klimatischen Verhältnisse neben dem Gefälle der wichtigste Faktor für die Bestimmung des Grades der Thätigkeit des fliessenden Wassers in einem gegebenen Kanale sind. Von ihnen hängt es ab, ob das feuchte Element in der Gestalt von Eis oder von Wasser vorhanden ist; sie beeinflussen die Wassermasse und das für die Erosionsthätigkeit so bedeutsame Element der Vegetation. Wechsel in Temperatur und Niederschlag bringen in der That die durchgreifendsten Veränderungen in den Wirkungen der Flüsse hervor. Die letzteren sind daher einer Periodizität unterworfen, die im kleinen

durch den Wechsel der Jahreszeiten, in grösserm Maassstabe durch die Aufeinanderfolge von längeren Perioden der Dürre und solchen des vermehrten Niederschlages beherrscht wird. Es kann aber auch das Klima einer Gegend oder eines grossen Kontinentalgebietes sich dauernd oder doch für einen ausserordentlich langen Zeitraum vollkommen ändern.

Wird das Klima trocken, so vermindert sich die Wasserzufuhr der Flüsse; zugleich wird die Verdunstung erhöht und setzt die Wassermasse noch mehr herab. In demselben Sinne wirkt das Absterben der Wälder. Die Gehänge werden stärker abgespült, die Schutthalden wachsen an; die Schuttkegel werden in geringerm Grade fortgeführt und füllen die Thäler an. Das fliessende Wasser vermag nur noch, soweit sein Einfluss reicht, den Schutt einigermassen auszunebnen, aber nicht zu entfernen. Die kleinen Bäche versiegen; in allen Teilen erlahmt die Thätigkeit der Flüsse und grossen Ströme; die Erosionskanäle bedecken sich mit Schutt; der Fluss vermag die Hindernisse nicht fortzuschaffen, die er sich selbst aufbaut; Sandbänke und Flussteilungen nehmen zu. Das Trockenwerden des Klimas kann ursprünglich veranlasst worden sein durch das Aufsteigen einer Bergkette an der Seite, von der früher die feuchten Winde kamen, oder durch das Anwachsen des Kontinents nach derselben Richtung, oder durch Aenderung in den Meeresströmungen, oder durch andere Ursachen, die sich für den einzelnen Fall schwer erkennen lassen. Aber auch wenn der erste Anlass nicht weiter vermehrt wird, nimmt die Trockenheit beständig bis zu einem gewissen Grade zu, indem sie selbst die Faktoren hervorruft, welche ihrer Steigerung günstig sind. Die Seen werden abflusslos, schrumpfen ein und erfüllen sich mit den Salzen, welche die Gewässer ihnen zutragen; die Ströme stellen nicht mehr einen kontinuierlichen, lebensvollen Wasserweg von ihren Quellgebieten nach dem Meere dar, sondern zerfallen in einzelne Strecken, deren jede entweder im Boden versiegt oder in einen salzigen abflusslosen Flachsee mündet. Die atmosphärischen Sedimente häufen sich an und es ändert sich vollkommen der Charakter des Landes.

Umgekehrt ist es, wo die Niederschläge zunehmen. Die Bergwasser fliessen reicher; die Seen füllen sich an; ihr Salzgehalt vermindert sich; die Vegetation wird üppiger, befördert den Quellenreichtum und weist dem Wasser bestimmtere Bahnen an; von unten nach oben werden die Wasserläufe im Haupt-

stamm und allen Verzweigungen wiederhergestellt. Hier und da hat jedoch der von oben geschwellte Fluss eine andere Bahn eingeschlagen und vermag seinen frühern Kanal nicht wieder einzunehmen. Tektonische Aenderungen haben sich in der Zwischenzeit zugetragen und veranlassen ebenfalls Abweichungen von den alten Stromrinnen. Die Sedimente des Wassers und der Atmosphäre, die während eines langen Zeitraumes aufgeschüttet wurden, werden tief durchschnitten, und ihre ungeheure Masse veranlasst ein bedeutendes Anwachsen von Land im Unterlaufe der Ströme und an den Stellen ihrer Einmündungen in das Meer.

Es giebt vermutlich keine Gegend auf der Erde, wo sich nicht im Laufe der letzten Erdperioden, die die Spuren der in ihnen stattgehabten Vorgänge am deutlichsten hinterlassen haben, grosse klimatische Aenderungen zugetragen und wahrscheinlich wenige, wo nicht mindestens kleine Wandlungen seit historischer Zeit stattgefunden haben. Wer die mechanische Arbeit der Flüsse zum Gegenstande sorgfältigen Studiums überhaupt gemacht hat, dem wird sich daher überall Stoff zur Beobachtung über die Wandlungen in ihrer Intensität und in der Art ihrer Aeusserungen bieten. Der Reisende wird Thäler finden, die durch die gegenwärtige Wassermasse der in ihnen fliessenden Gewässer niemals ausgehöhlt werden konnten; andere, welche sich als unfertige Bildungen der machtvollen Ströme, die jetzt von ihnen aufgenommen werden, erweisen. Die Spuren einer übermächtigen, wie diejenigen einer lahmgelegten Kraft des Wassers sind in gleicher Weise deutlich wahrzunehmen. Der Blick dafür schärft sich ungemein durch Uebung. Es ist kaum erforderlich, allgemeine Regeln über das hinaus zu geben, was in vorhergehenden Abschnitten gesagt worden ist. Es ist auch hier die sorgfältigste Beobachtung und Schlussfolgerung von Fall zu Fall erforderlich. *)

*) Eine durch Reichhaltigkeit und kritische Sorgfalt in der Zusammenstellung von Thatsachen, wie durch Klarheit der Argumentation ausgezeichnete Behandlung hat die Frage der Wandlungen des Klimas während der jüngsten Zeitalter der Erdgeschichte in dem Werk von J. D. Whitney: *The climatic changes of later geological times*, Cambridge 1882, erfahren. Die Schlussfolgerungen, zu welchen der scharfsinnige Verfasser gelangt ist, haben dem Gegenstande eine noch grössere Tragweite und eine noch höhere Wichtigkeit für die Betrachtung von Vergangenheit und Zukunft verliehen, als er bereits besass. Sie sind ganz besonders geeignet, zu ferneren darauf

5) Ursachen der Stufenbildungen in Flussthälern.

Das morphographische Phänomen der Abstufungen des Bodens in Flussthälern ist bereits in einigen Fällen berührt worden und mag hier, wo es sich um die Einwirkung äusserer Einflüsse auf die Entstehung der Erscheinung handelt, einer zusammenfassenden Erörterung unterzogen werden. § 93.

Rein morphographisch betrachtet, giebt es zweierlei Hauptarten von Stufenbildungen. Die erste umfasst die Abstufungen des Thalbodens im Längsprofile; sie sind quer gegen das letzte gerichtet, daher als Querstufen zu bezeichnen. Die zweite begreift die im Querschnitte durch ein Flussthal erkennbaren Terrassenbildungen, welche das letztere in der Längsrichtung begleiten und daher Längsstufen genannt werden können; wenn sie aus Schuttablagerungen bestehen, nennt man sie gewöhnlich Diluvialterrassen. Es giebt Querstufen, welche sich in entsprechenden Höhen als Längsstufen fortsetzen; wir bezeichnen diese kombinierten Terrassen als Strombeckenstufen.

a. Querstufen sind Niveaustufen des Thalbodens, bald von grossem, bald von sehr geringem Betrage, bald steil und unmittelbar abfallend, bald auf eine örtliche, durch Stromschnellen bezeichnete Gefällsvermehrung beschränkt. Sie finden sich bei den kleinsten Bergwassern ebenso wie bei den grössten Strömen, deren Becken in ihren einzelnen Teilen durch ganz verschiedene Gebirgssysteme beherrscht werden. Je nach den Ursachen, durch welche sie hervorgebracht werden, kann man verschiedene Typen unterscheiden. Querstufen können entstehen:

1) Durch Unterschiede des von dem Medium, auf welches ein fliessendes Gewässer von gegebener, gleichbleibender oder periodisch wechselnder Kraft einwirkt, geleisteten Widerstandes, wie dies bei der Erörterung der Härte und Lagerung der ein Flussbett bildenden Gesteine (§§ 73—78) ersichtlich war. Stufen dieser Art sind im allgemeinen als Gesteinsstufen der Erosionsthäler zu bezeichnen. Ihrer Form nach erscheinen sie bei tafelartiger oder flachgeneigter Lagerung als Tafelstufen, in allen anderen

bezüglichen Beobachtungen in allen Ländern anzuspornen, und nicht genug kann die Frage, auf welche in diesem Buche wiederholt hingewiesen ist, der Aufmerksamkeit der Forschungsreisenden anempfohlen werden.

Fällen als Riegelstufen, indem stärker geneigte, harte Schichtgesteine, ebenso wie Eruptivgesteine, stets mehr oder weniger die Gestalt von Thalriegeln annehmen. Ein Beispiel sehr steiler Tafelstufen giebt Fig. 33 auf S. 161 an. Bei grösseren Flüssen sind die ebenen Strecken zwischen den Staffeln sehr ausgedehnt. Ausgezeichnete Beispiele in grossem Massstabe bieten die Viktoria- und Columbiafälle (§ 76). Auch der Fall des Niagara kann noch hierher gerechnet werden. — Riegelstufen sind in den Querthälern der Faltungsgebirge häufige Erscheinungen. Die Nilkatarakte zeigen ihr Vorkommen bei Tafellagerung, wenn der Fluss den Unterbau der Schichten erreicht. Die Hauptgipfelkette des Himalaya verursacht eine ausgedehnte Riegelstufe für alle grossen Stromthäler dieses Gebirges. Im Wesen nicht anders als durch einen Quarzgang oder einen kleinern Komplex steilstehender harter Schichten, wird Stufenbildung durch Gebirgsriegel verursacht. Nur das Grössenverhältnis ist verschieden. Der Durchbruch der Donau am Eisernen Thore, derjenige des Kongo durch die westafrikanischen Randgebirge, die Durchsetzung der sogenannten Ostghats durch die indischen Ströme — dies sind einige der sehr zahlreichen grossen Beispiele von Gebirgsriegeln im Stromlaufe und der Absonderung von Thalboden durch die damit zusammenfallende Riegelstufe.

2) Durch Zerlegung des Gefälles in zwei verschiedenartig sich verhaltende Strecken, infolge der Stauung des Stromes durch ein in den Weg geschobenes Hindernis, sei es, dass dasselbe in einem stauenden Walle (§ 87) oder in einer tektonischen Bodenverschiebung (§ 86) bestehe. Der letztere Fall kann, als hypothetisch und schwer nachweisbar, hier ausser acht gelassen werden. Die durch stauende Wälle verursachten Thalstufen sind von Löwl passend als Dammstufen bezeichnet worden. Sie sind von Lagerung, Art und Härte des Gesteins im Thalboden, ebenso wie von der frühern Gestalt des Thales unabhängig und entstehen besonders häufig in engen und steilwandigen Thälern. In der Geschichte der Hohlformen der Gebirge, insbesondere der Querthäler, sind sie ein wichtiges Moment; aber meist besteht dieses nur kurze Zeit an derselben Stelle, um wieder zu verschwinden und durch Dammbildungen an anderen Stellen ersetzt zu werden. Durch dieses Verhalten stehen

die Dammstufen in den meisten Fällen an Bedeutung hinter den Riegelstufen zurück, weil hier die veranlassende Ursache in der Regel nahezu an derselben Stelle des Flusslaufes bestehen bleibt, wie tief auch dieser sein Bett graben möge.

3) Durch Aenderung der Gefällsverhältnisse in solcher Weise, dass eine Absturzstrecke geschaffen wird. Dies kann an Zuflüssen geschehen, indem ein quergerichteter Hauptstrom sich mit grösserer Kraft einschneidet (§ 70), und an jedem Strome, indem eine mit der Strömung gleichsinnige Absenkung sich vollzieht (§ 90), oder die untern Teile des Strombettes durch Abrasion entfernt werden (§ 161). Diejenigen Stufen, welche durch steilen Abfall von den Boden der Zuflüsse gegen einen grössern Strom verursacht werden, sind zwar im Verhältnisse zu jenen Querstufen, aber in der Beziehung zum Hauptthale nur Teile einer Längs- oder Strombeckenstufe. Die durch Abrasion verursachten Gefällsstufen beschränken sich auf die Mündungsstrecken zunächst den Küsten und können als Abrasions-Stromstufen bezeichnet werden. Wichtiger als diese sind die Absenkungsstufen der Ströme. Nachweisbar sind sie insbesondere an den Abfällen mancher Tafelländer. Wie die Flüsse im Kaplande von Staffel zu Staffel durch die Engschluchten der „Kloofs" hinabziehen, so ist es bei denen der Fall, deren Lauf in der chinesischen Provinz Schansi durch Staffelbrüche beeinflusst sind. Träge fliesst das Gewässer auf der Höhe jeder Staffel, um dann in steiler Engschlucht nach der nächsten hinabzustürzen. Aehnliches sollte sich in der Entwicklung der nach Grabenversenkungen herabziehenden Flüsse beobachten lassen.

Dies dürften im wesentlichen die Vorgänge sein, welche den Querstufen sowohl bei Gebirgsflüssen als bei grossen Strömen zu Grunde liegen. Bei letzteren äussern sich die Stufen in den Höhenunterschieden der verschiedenen Becken. Die Querstufen sind häufig nicht an der Stelle entstanden, wo man sie beobachtet, sondern infolge der rückschreitenden Erosion (§ 67) stromaufwärts verlegt worden. Diesem Umstande ist bei der Beobachtung kleiner, ebenso wie grosser Verhältnisse Rechnung zu tragen, und man hat den Punkt des Stromlaufes, an welchem die Niveau-Differenzierung in jedem einzelnen Falle zuerst eintrat, mit Rücksicht auf die Ursache der Entstehung derselben zu prüfen. Die Erscheinung wird

verwickelt, wenn das Ausflussniveau eines Erosionskanals periodisch erniedrigt wurde und jedesmal die Staffel rückwärts schritt. Es können dann eine Reihe weit voneinander entfernter Querstufen ihre gemeinsame Ursache in zeitlich getrennten tektonischen Vorgängen haben, welche sich an derselben Stelle des Stromlaufes ereigneten.

b. Längsstufen sind Niveau-Abstufungen der Thalwände und bieten ebenfalls in Hinsicht auf Höhe und Steilheit die mannigfachsten Verhältnisse dar. Sie bestehen oft ganz und gar aus festem Gesteine. Dies beobachtet man nicht selten in Schichtungstafelland (§ 75), wo bei trockenem Klima noch andere Ursachen ausser der Erosion durch Wasser die Terrassenbildung zu befördern scheinen (§ 194); doch kommt es auch bei faltiger Lagerung und vielfachem Gesteinswechsel vor. Man erkennt den breiten Felsboden einer ehemaligen Thalsohle, in welcher der Strom offenbar lang genug verweilte, um sie durch seitliche Erosion auszuebnen, und sieht in diesen Boden einen engen Kanal eingeschnitten, in dessen Tiefe der Fluss jetzt seinen Lauf nimmt und seine Arbeit fortsetzt. In solchen Fällen ist das Verhalten der Zuflüsse zu prüfen, ob sich an ihnen die schon in § 70 genannten Strombeckenstufen nachweisen lassen. Die Felsterrassen finden sich manchmal in grösserer Zahl übereinander, ebensoviele Episoden in der Thalbildung bezeichnend. Die tieferen und jüngeren pflegen dann deutlicher ausgebildet zu sein als die höheren. Die Lage der einzelnen Stufen im Verhältnisse zu den Isohypsen sollte genau festgestellt werden. Nur die umfassendste Untersuchung vermag über die Ursachen der Trennung der Erosionsperioden Aufschluss zu geben. Einfacher ist meist die Erklärung in solchen Gebirgen, in welchen die bis zu einem bestimmten Grade durch Wasser vorgebildeten Flussthäler durch Eis ausgeschliffen, erweitert und am Boden abgeflacht wurden, um dann zur Ausfurchung einer neuen Wasserrinne in diesem Anlass zu geben.

Häufiger als aus festem Gesteine, bestehen die Längsstufen aus Schuttablagerungen. In engen Gebirgsthälern sind zuweilen nur kleine Reste von diesen vorhanden, in weiten Hügellandschaften können sie hingegen eine beträchtliche Breite erreichen. Gewöhnlich tragen sie eine ebene Fläche und fallen von deren scharfem Grenzrande in die jüngsten Alluvien ab; zuweilen aber hat sich der Fuss unterhalb der

Sohle, welcher sie aufliegen, zu grösserer Tiefe eingegraben; dann begleiten sie die Thalrinne als Flankengebilde. Es kann eine einzige Terrasse vorhanden sein, es kann deren auch mehrere von verschiedenem Alter, verschiedener Höhe und verschiedener Deutlichkeit der Ausbildung geben. Jede solche Terrasse bezeichnet entweder die Aufeinanderfolge einer Periode der Erosion auf eine solche der Ablagerung oder deutet nur eine verstärkte Erosion an. Die Ursache der Ablagerung kann entweder in einer Verminderung des Gefälles oder in einer übermässigen Zufuhr von Sedimenten bestanden haben. Dementsprechend findet man im erstern Falle die Längsstufen, ebenso wie die Beckenstufen, welche wir nur als eine erweiterte Form von jenen bezeichneten, mit völlig horizontaler Oberfläche, im zweiten Falle dagegen der Neigung der Flussbetten folgend. Der erste Fall tritt ein, wenn ein stauender Wall quer gegen einen Fluss vorgeschoben wurde und die Bildung eines Sees veranlasste, welcher durch die Sedimentausfüllung in eine ebene Landfläche verwandelt wurde (§ 91). Schnitt sich dann der Fluss rückwärts einen Kanal in diese ein und schaffte er sich durch seitliche Erosion einen breitern Boden, so ragen die Ablagerungsmassen beiderseits als horizontale lakustrine Terrassen darüber auf.

In grösserm Massstabe hat die übermässige Zufuhr von Sedimenten, insbesondere von gröberen, die Bildung solcher Längsstufen zur Folge, welche an der Neigung des Strombettes teilnehmen. Es wurde in § 70 dargestellt, dass, wenn in einem mit losem Schutte reichlich bedeckten Berglande eine plötzliche und aussergewöhnliche Vermehrung der Wassermasse, z. B. durch einen Wolkenbruch, stattfindet, die Transportkraft des in Kanälen abströmenden Wassers in weit höherm Masse als die Wassermasse vermehrt wird. Der Schutt wird fortgeschwemmt und kann die Boden der Erosionskanäle so vollständig bedecken, dass Jahrhunderte dieselben nicht mehr frei zu legen vermögen. Ebenso werden weiter hinab, wo das Gebiet der Ablagerung bei gewöhnlichem Wasserstande beginnt, die Flussbetten angefüllt; es kann ein Ueberschreiten der Ufer und das Aufwerfen eines mächtigen Dejektionskegels (§ 83) erfolgen. Ein ähnliches Resultat kann herbeigeführt werden, wenn Schnee und Eis auf einem Vulkane durch Erhitzung von Teilen des Kegels schmelzen und Schuttströme (gewöhnlich als Schlammströme bezeichnet) sich von diesem herabwälzen. Die Arbeit des

fliessenden Wassers ist hinfort darauf gerichtet, einen Kanal durch rückwärtiges Fortschreiten in den Schutt zu graben.

Die übermässige Zufuhr von groben Sedimenten kann sich auch durch einen längern Zeitraum erstrecken, wenn infolge klimatischen Wechsels eine dauernde Vermehrung der Niederschläge eintritt, und grosse, durch lange Perioden angesammelte Vorräte von Gebirgsschutt dadurch abgeräumt und den Flüssen zugeführt werden; oder wenn, ohne Vermehrung der Niederschläge, die Wirkung des Spaltenfrostes an felsigen Flussufern während einer gewissen Zeit eine besondere Intensität erreicht, oder in anderer Weise grosse Schuttmassen von den Seiten her in einen Strom getragen werden, welcher dieselben zu seigern, auszubreiten und von allen feineren Bestandmassen zu reinigen, aber die gröberen Teile nicht fortzuführen vermag. Es kann dadurch Ableitung des Stromes in neue Bahnen, auch Bifurkation eintreten. Aber sowie die übermässige Zufuhr aus Mangel an gelockertem Materiale oder aus anderen Ursachen erschöpft ist, beginnt der Strom sein Bett innerhalb der Schuttanhäufungen nach der Tiefe zu graben. Dies gelingt ihm vollkommen, wenn er mit verstärkter Wassermasse arbeiten kann, wie es z. B. während der langen Dauer des Abschmelzens grosser Gletschermassen der Fall gewesen ist. In Gebirgen erreichen die Schuttablagerungen der Flussthäler zuweilen eine Mächtigkeit von einigen hundert Fuss; und doch findet man das neue, oft von breiten Alluvialflächen begleitete Strombett nicht nur bis zu einem grossen Teile jenes Betrages eingesenkt, sondern zuweilen noch in das unterlagernde Gestein eingegraben.

Dieser doppelte Vorgang der Auffüllung und Ausfurchung hat sich in manchen Fällen ein zweites und selbst ein drittes Mal wiederholt. Reichten die Schwemmablagerungen der zweiten Periode über das Niveau derjenigen der ersten hinaus, so wird nur ein System höherer Terrassen an Stelle des frühern entstanden sein, und es wird schwer halten, beiderlei Ablagerungen zu trennen. Erreichten sie nicht die Höhe der ersten Terrasse, so werden, nachdem der Fluss sich wieder eingeschnitten hat, zwei Systeme von Längsstufen denselben begleiten. In analoger Weise kann ein drittes hinzutreten. Die Untersuchungen derartiger Verhältnisse sind schwierig und müssen sehr genau ausgeführt werden. Doch wird die Mühe belohnt, weil sie wertvolle Aufschlüsse über die physische Geschichte grosser Erdräume geben. Als Muster für die Beobachtungen über

Längsterrassen können diejenigen genannt werden, welche Penck in den Alpen und deren Vorland ausgeführt hat, sowie diejenigen amerikanischer Geologen über analoge Verhältnisse in den Vereinigten Staaten.

Einige der häufiger vorkommenden Fälle von Längsterrassen sind in Fig. 54—60 zusammengestellt. In Fig. 54 ist es

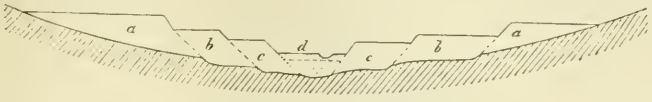

Fig. 54.

klar, dass *aa* einst eine zusammenhängende Schuttausfüllung war, in welcher der Fluss ein neues breites Thal bis zur Sohle ausgrub, dann dieses von den kontinuierlichen, jetzt nur in den

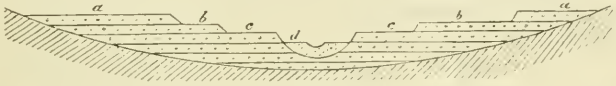

Fig. 55

Terrassen *bb* erhalten gebliebenen Ablagerungen erfüllt wurde, und beiderlei Vorgänge sich in allmählicher Abschwächung bis zur Entstehung der gegenwärtigen Thalsohle wiederholten. Dagegen stellt Fig. 55 einen Fall dar, in welchem dieselbe

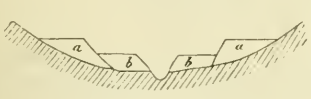

Fig. 56.

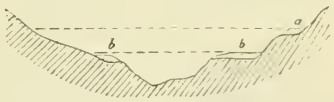

Fig. 57.

äussere Gestalt durch das in Absätzen erfolgte Tieferlegen des Arbeitsniveaus des Flusses in einer und derselben Schuttanfüllung hervorgebracht wurde; an der Stelle der Terrassen *aa*, *bb*, *cc*

Fig. 58.

ist dann oft eine allmähliche Abdachung gegen *d* vorhanden. In Fig. 56 sind die Terrassen *aa*, *bb* wie im ersten Falle

stehengeblieben; das jetzige Strombett *c* ist aber ein Erosionskanal im Gesteine. Wo rudimentäre Terrassen vorhanden sind, wie in Fig. 57 und 58, ist es zwar wahrscheinlich, dass die Ablagerungen *aa* von höherm Alter sind als *bb*; aber dies kann aus der Lagerung nicht sicher erkannt werden; die Feststellung muss sich hier auf anderweitige Untersuchung gründen. Zuweilen kann eine Runse, wie in Fig. 59, den Rest einer

Fig. 59.

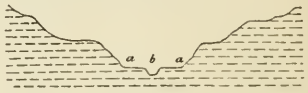

Fig. 60.

ältesten Schuttablagerung *a* erschliessen, der aber von der zu grösserer Höhe hinaufreichenden Ablagerung *b* verdeckt ist. Das Verhältnis von *c* und *d* zu *b* ist dasselbe wie in Fig. 54. Die im festen Gesteine ausgewaschenen Stufen bedürfen keiner besondern Darstellung. Doch ist in Fig. 60 ein Fall veranschaulicht, welcher bei dem Yang-tszĕ-kiang vorkommt, wo er in grossartigen Engen das letzte in seinem Wege stehende Gebirge durchbricht. Hier ist *aa* eine ebene Stufe, welche die Thalsohle bei Hochwasser bezeichnet, während der kleine Kanal *b* von dem Flusse bei niedrigem Wasser benutzt wird. Beide sind in Sandstein mit grosser Schärfe eingegraben.

6) Aenderung der Geoidfläche.

§ 94. Diesem Faktore ist mit Rücksicht auf seine Beeinflussung der Stromläufe bis jetzt nur wenig Rechnung getragen worden. Die Tragweite, welche ihm in Zukunft zukommen wird, lässt sich vorläufig nur ahnen. Da der Reisende ihn nicht unmittelbar der Beobachtung unterwerfen, sondern nur allgemeine Resultate nach diesem Gesichtspunkte argumentierend prüfen kann, so mag er hier, trotz seiner Wichtigkeit, übergangen werden. Belehrung über die in § 117 (Nr. 18) näher bezeichnete Art seiner Anwendbarkeit kann man Pencks scharfsinniger Darstellung (Verhandlungen der Ges. f. Erdk. zu Berlin, 1884, p. 55—59) entnehmen.

7) Zerklüftung und Höhlenbildung.

§ 95. In § 82 wurde auf den Einfluss hingewiesen, welchen die im Gesteine vorhandenen Klüfte auf die Ablenkung des ersten

Wasserabflusses auf einer geneigten Fläche im kleinen ausüben. Mit geringerer Sicherheit ist die Frage entschieden, inwieweit grössere Flüsse in der Richtung ihres Laufes durch vorhandene Gebirgszerklüftung bestimmt und durch deren weiteres Fortschreiten beeinflusst werden. Daubrée suchte für einige Gegenden Frankreichs, welche aus flach gelagerten, wahrscheinlich durch Torsion zerklüfteten Sedimentgesteinen bestehen, nachzuweisen, dass dort die gesamte Stromverteilung ein durch die Klüfte veranlasstes System winklig zusammengefügter Thalstrecken bilde, und Kjerulf hat den Zusammenhang der Verzweigungen der norwegischen Fjorde mit einer die Gebirge im grossen betreffenden Zerklüftung angenommen. Andererseits hat sich in solchen Abrasionsgebieten, welche von Brüchen und Verwerfungen durchsetzt waren, ehe ihre Abschleifung erfolgte, wie im Harze und im rheinischen Schiefergebirge, ein analoger Zusammenhang nicht erweisen lassen; selbst wenn ein bedeutender Härtewechsel mit der Verwerfung verbunden ist, scheinen dort nur kleine sekundäre Wasserläufe hinsichtlich ihrer Richtung dem gedachten Einflusse zu unterliegen.

Beobachtungen hierüber sind noch in geringer Zahl vorhanden. Die Aufmerksamkeit könnte darauf gerichtet werden: 1) ob die Klüfte und Verwerfungen vor der Anlage der Abflusskanäle bestanden oder erst während deren Entwicklung gebildet wurden; 2) ob sich nicht Klüfte verschieden verhalten; ob nicht z. B. Torsionsklüfte in gewissen Richtungen und an gewissen Stellen mit einer Lockerung verbunden sind und dem Wasser leicht Zugang gewähren, dagegen an Absinkungsklüften eher eine Verdichtung des Gesteins stattgefunden habe, welche das Eindringen von Wasser und die Zersetzungsfähigkeit verminderte. Auch das verschiedenartige Verhalten der einzelnen Gesteine sollte festgesetzt werden. Klüfte in leicht zersetzbarem Gesteine, wie Granit, werden sich anders verhalten als solche in unzersetzbarem Gesteine, wie Thonschiefer.

Eine besondere Kategorie bilden die Klüfte in löslichem Gesteine. Kalksteine nimmt hier weitaus die erste Stelle ein, umsomehr als in wenigen anderen Gesteinen in gleichem Grade wie bei ihm eine bei den gebirgsbildenden Prozessen oder durch Lockerung der Unterlage entstehende Spannung sich durch Kluftbildung löst. Finden die Gewässer, welche durch atmosphärische Niederschläge oder von Flüssen geliefert werden können, Abfluss durch solche Klüfte, so schreitet die Auflösung

des Gesteins schnell vor; es bilden sich Höhlungen; Flüsse senden durch Sickerung einen Teil ihres Wassers hinein, wie die obere Donau gegen die Aachquellen hin, und können durch Erweiterung des unterirdischen Laufes ganz abgelenkt werden, wie es der Donau im Laufe der Zeit bevorzustehen scheint, falls nicht künstlich vorgebeugt wird. In den Kalkgebirgen der Ostseite des adriatischen Meeres, vom Karst bis zum südlichen Griechenland, ereignet es sich, dass mehrere in einer Thalmulde entspringende, durch kaum bemerkbare Wasserscheiden getrennte Gewässer durch verschiedene Thore in einem die Mulde an der Seite einfassenden Kalkgebirge entweichen. Durch Einstürzen der Höhlen bilden sich mit der Zeit offene Thäler.

Dem letztgenannten Umstande ist besonders in Lössgegenden Aufmerksamkeit zu widmen. Es findet sich häufig, dass aus einer Lössmulde mehrere Flüsse entspringen und einige von ihnen durch enge Felsschluchten entweichen, während ihnen anscheinend die Vereinigung mit dem der natürlichen Neigung folgenden Gewässer leichter gewesen sein müsste. Das Verhältnis ist schwierig zu erklären, wenn sie nicht Kalkstein, sondern andere der Lösung nicht merklich unterliegende Gesteine durchbrechen.

Auf die Ablenkung der Ströme durch Querverschiebungen der Gebirge und andere Vorgänge von grossem Massstabe wird in einem andern Kapitel eingegangen werden.

Aus der sehr umfangreichen, auf Beobachtung beruhenden Litteratur der letzten Zeit über die mechanische Thätigkeit des fliessenden Wassers und die Bildung der Erosionsthäler mögen hier die folgenden Abhandlungen genannt werden:

Rütimeyer. Ueber Thal- und Seebildung, Bern 1869 (2. Aufl. 1874). — Surell et Cézanne. *Études sur les torrents des hautes Alpes*, 1870—72. — G. K. Gilbert. *Land sculpture*; in *Report on the Henry mountains*, Washington, 1877 p. 99—144. — A. Supan. Studien über Thalbildung des östlichen Graubündten und der Tiroler Centralalpen; Mitteilungen der geogr. Gesellschaft in Wien, 1877, p. 293—408. — E. Tietze. Bemerkungen über die Bildung der Querthäler; Jahrb. der k. k. geolog. Reichsanst. Wien 1878, p. 581—610 und 1882, p. 685—767. — Heim. Erosion im Gebiete der Reuss; Jahrb. d. Schweiz. Alpenklubs 1879, p. 387, — C. E. Dutton. *Tertiary history of the Grand Cañon District*, Washington 1881; besonders Kap. IV, XIII, XIV. — K. Schneider. Studien über Thalbildung in der Vordereifel; Zeitschr. d. Ges. f. Erdk., Berlin 1883, p. 27—67. — F. Löwl. Ueber Thalbildung, Prag 1884. — A. Penck. Ueber Periodizität der Thalbildung; Verhandlungen der Ges. f. Erdk., Berlin 1884, p. 39—59.

Siebentes Kapitel.

Beobachtungen an Eis und Gletschern.

Eis bildet sich teils durch unmittelbares Gefrieren von Wasser, teils durch die Umwandlung, welche Schnee einerseits durch das Eindringen und Gefrieren von Wasser von 0 °, andererseits durch die Wirkung von hohem Drucke erleidet. In den beiden letzteren Fällen erhält es besondere Strukturformen. Der Beobachtung bieten sich verschiedene Aufgaben, je nach der Art, wie das Eis vorkommt, welche mit der Art seiner Bildung im wesentlichen zusammenfällt.

1. Eis der Gewässer.

Die Betrachtung lässt sich sondern, je nachdem man es mit gefrorenem Bodenwasser, Flusswasser, stehendem Wasser oder Meerwasser zu thun hat.

a. Bodeneis.

An der Oberfläche des Bodens ist das in denselben eingedrungene Wasser den durch die örtlichen Bestrahlungs- und Wärmeverhältnisse bedingten Einflüssen überhaupt ausgesetzt. Es gefriert, wenn die Temperatur unter Null sinkt, und taut, wenn sie darüber steigt. Da die äusserste Bodenschicht sich durch Insolation schneller erwärmt und durch Ausstrahlung § 96.

schneller abkühlt als die Luft, so sind im allgemeinen die Temperaturwechsel in ihr noch grösser, als sie der der Luft ausgesetzte Thermometer angiebt. Der mechanische Effekt des Bodeneises auf die Absprengung des Gesteines und die Lockerung des Erdbodens wurde bereits in § 41 erörtert. Unter der Oberflächenschicht nehmen die Temperaturschwankungen ab bis zur invariablen Schicht, von welcher aus die Temperatur nach der Tiefe hin zunimmt, aber in jeder einzelnen Tiefenstufe konstant ist. Da die Temperatur der invariablen Erdschicht der Mitteltemperatur des betreffenden Ortes gleich ist, so wird, falls die letztere über 0^0 liegt, der Boden nur im Winter und nur in den obersten Teilen zeitweise gefroren sein. Liegt sie hingegen unter 0^0, so wird eine Schicht des Bodens, welche zum Teile über und zum Teile unter der invariablen Stufe liegt, beständig gefroren sein. Von der Oberfläche aus wird im Sommer die Temperatur nach dieser Tiefe hin im Mittel stetig abnehmen, während sie darunter wieder allmählich zunimmt. Im Winter wird der Boden von der Oberfläche an gefroren sein, und seine Temperatur von ihr aus beständig zunehmen. Die Erfahrung hat diese Voraussetzungen bestätigt. Doch sind in allen Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter 0^0 liegt, fernere Beobachtungen über das beständige Bodeneis, die Temperaturverhältnisse in verschiedenen Tiefen und die mechanischen Wirkungen des Eises auf den Boden erwünscht. In der beständig gefrorenen Schicht sollten die letzteren gleich Null sein, über ihr hingegen sich bemerkbar machen. Brunnengrabungen und Bergwerke, auch natürliche Höhlen, können darüber Aufschluss geben.

Es kommen auch abnorme Verhältnisse vor, indem sich beständiges Eis in Gegenden bildet, deren Jahrestemperatur über Null liegt. Hierzu gehören die Eishöhlen, auf die bereits bei den kalten Quellen (§ 57) hingewiesen wurde. Als die wahrscheinliche Ursache der Eisbildung wurde die Wärmeentziehung durch die Verdunstung des Sickerwassers im Gebirgsschutte angegeben, welche durch ihre grössere Intensität bei hohem Stande der Sonne die Eisbildung im Sommer befördert. Wo das seltene Phänomen sich bietet, sollten Erkundigungen über die Eismenge in verschiedenen Jahreszeiten eingezogen und Beobachtungen über alle einschlägigen Umstände angestellt werden; denn die angegebene Erklärung ist keineswegs als sicher anzusehen.

b. Eis der stehenden Gewässer.

§ 97. Bei tiefen Seen, auf denen sich Eis bildet, ist zunächst die Temperaturverteilung von der Oberfläche bis zum Boden festzustellen. Man findet gewöhnlich bis zu einer gewissen Tiefe die Temperaturveränderungen der Oberfläche bemerkbar, darunter aber bis zum Boden eine gleichmässige Temperatur von $3{,}5^0$—4^0. Im übrigen ist bei stehenden Gewässern im allgemeinen die Zeit des Gefrierens und Auftauens, die Dicke des Eises, der Umfang der Eisdecke in grösseren Seen, der Dienst, welchen es dem Verkehre leistet und anderes Thatsächliche zu beobachten. Spezielleres Interesse haben von diesen Gesichtspunkten aus die Salzseen. Wo nur der Boden mit Salzinkrustationen und einzelnen Tümpeln bedeckt ist, kann, wie schon angedeutet wurde, der Einfluss der Kältemischung von Schnee und Salzen auf die Lufttemperatur beachtet werden. Doch ist dabei Vorsicht erforderlich; denn die Salzkrusten finden sich häufig in abflusslosen Becken, in welche in kalten Nächten die erkaltete Luft der Thalgehänge hinabfliesst (§ 25). Am Morgen ist es dann im Thale kälter als auf den umgebenden Berggehängen. Diesem Umstande ist bei Beurteilung der erkältenden Ursachen Rechnung zu tragen.

c. Eis der fliessenden Gewässer.

§ 98. Insoweit Flüsse sich mit Eis bedecken, gilt dasselbe wie für die stehenden Gewässer. Doch kommen eine Anzahl von Gesichtspunkten hinzu, welche sich auf mechanische Wirkungen beziehen. Das Gefrieren beginnt in manchen Flüssen mit der Bildung von Grundeis. Der Grad der Klarheit des Wassers scheint darauf Einfluss zu haben. Betreffs der Ursache der Grundeisbildung sind jedoch die Ansichten verschieden. Von einigen wird sie der nächtlichen Ausstrahlung von einem kiesbedeckten Boden zugeschrieben, indem die niedrige Temperatur sich der am langsamsten fliessenden Bodenschicht des Wassers mitteile und dieses dadurch teilweise zum Gefrieren komme. Nach anderer Ansicht würde das Grundeis durch das Ansetzen von Eisnadeln am Boden entstehen, die, an der Oberfläche gebildet, nach abwärts gewirbelt würden und sich dort ansetzten, bis sie eine dickere Schicht bildeten. Bei dieser Divergenz der Anschauungen sind fernere Untersuchungen über die Bildungsart des Grundeises erwünscht. Das graugefärbte, schwammige Grundeis ist oft von Erde, Sand und Kieseln

erfüllt, welche letztere das Wasser allein nicht zu transportieren vermöchte. Indem es in Schollen zur Oberfläche ansteigt und mit seinen Einschlüssen stromabwärts getragen wird, trägt es zum Transporte fester Massen bei.

Die mechanischen Wirkungen des Eisganges, d. h. des Abwärtsschwemmens des in Schollen gebrochenen Oberflächeneises, sind besonders bei denjenigen Flüssen zu beobachten, welche in kalten Gegenden von Süd nach Nord gerichtet sind, wie diejenigen von Sibirien und dem arktischen Nordamerika. Die schätzenswerten Beobachtungen von v. Middendorff über die ersteren können zum Anhalte für weitere Untersuchungen dienen. Die Eisdecke der Seen und Flüsse erreicht nach ihm in Sibirien die Dicke von 1—2,40 m. Daher gefrieren die seichten Zuflüsse der grossen Ströme, welche selbst eine grössere Tiefe haben, bis zum Boden. Das nachdringende Wasser, besonders auch dasjenige der Bodenquellen, sucht nach der Oberfläche zu dringen und gefriert ebenfalls. Dadurch bildet sich eine Eiswölbung über dem Flussbette. Bei dem Auftauen entstehen erst zwei Ströme zu beiden Seiten des Eises und greifen die Ufer an. Dann kommt das Eis streckenweise zum Schwimmen. Es ist mit viel festem Materiale beladen und führt oft grosse Gesteinsblöcke. In die Ströme gelangt, findet es die nördlichen Strecken noch mit Eis bedeckt. Die Schollen stauen sich gegen dasselbe und bilden Wälle, die erst nach der Lösung des Eises der Unterstrecken zerstört werden können. Es findet daher einerseits ein bedeutender Transport von zum Teile sehr grobem Materiale bis weit in das Meer hinaus statt, andererseits eine starke Erosionswirkung des vielfach abgelenkten und gestauten Flusswassers und endlich eine Stosswirkung der Eisblöcke gegen die Ufer, welche Stauchungen des geschichteten Bodens und der weicheren Gesteine zur Folge hat.

Aehnliche Wirkungen, besonders hinsichtlich des Materialtransportes, geben sich bei jedem Eisgange zu erkennen. In flachen Gegenden können auch Stromableitungen vorkommen, wenn das Eis sich an Sandbänken oder Strominseln zu einem festen Walle staut, welcher durch die besonders gegen den mittlern Teil nachdrängenden und gegen den Boden hin sich einpressenden Eismassen eine gewölbeartige Gestalt annimmt und mehrere Kilometer Länge erreichen kann. Entweicht der Strom seitwärts durch ein neugegrabenes Bett, so schmilzt später die Eisbarre ab und lässt eine Anhäufung der mitgeführten festen

Massen zurück, welche dazu beiträgt, den neuen Lauf konstant zu erhalten.

d. Meereis.

In seichten Meeren ist die Grundeisbildung viel stärker als in Flüssen. Es kommt oft unversehens in Massen an die Oberfläche und kann, wenn es mit grossen Blöcken beladen ist, ein wichtiges Transportmittel werden. § 99.

An der Oberfläche gefriert das Meerwasser nur in geschützten Buchten und an den Küsten, da die Wellen dem Gefrieren im offenen Meere hinderlich sind. Die Temperatur, bei welcher das Meerwasser zu Eis kristallisiert, liegt zwischen -2^0 und -3^0 C. Zuweilen kühlt es sich in grösserer Ausdehnung über seichtem Grunde zu derselben ab und verwandelt sich bei geringem mechanischen Anlasse plötzlich in Eis. Im Augenblicke des Kristallisierens werden die Salze grösstenteils ausgeschieden; ein Teil von ihnen (wesentlich Sulfate) bleibt im Eise bestehen, ein anderer Teil (wesentlich Chlorüre) wird ihm als konzentrierte Sole mechanisch beigemengt, der grösste Teil geht in das Meer. Bei weiterer Abkühlung kristallisiert die Sole in weissen Nadeln und trägt wahrscheinlich in dieser Form zu der plastischen Konsistenz des Meereises bei. An der Unterseite des Oberflächeneises findet nach Weyprecht ein langsames Ansetzen von salzfreiem Eise statt. Dies, sowie die Art der Beimengung des Salzes ist noch genauer zu untersuchen; ebenso das Maximum der Dicke, welche das Eis während eines Winters erreichen kann und welche durchschnittlich zu 2 m angenommen wird; doch scheint es, dass, wenn das Gefrieren durch mehrere Winter fortsetzt, eine grössere Dicke erreicht wird. Als das mögliche Maximum hat man 6—7 m vermutet.

Durch Losreissen, Zusammenschwemmen und Stauen des Oberflächeneises entsteht das für die Polarfahrten so verhängnisvolle Packeis, welches die Hauptmasse der Eisfelder östlich von Grönland und nördlich von der Behringsstrasse bildet. Nach theoretischer Berechnung ist der untergetauchte Teil der grossen Schollen desselben 9—10 mal, nach Wallichs Schätzung 11—16 mal so dick als der sichtbare. Auch dies ist durch Messung oder durch Experimente im kleinen genauer zu bestimmen. Besondere Aufmerksamkeit ist den grossen tafelartigen Schollen des Treibeises der antarktischen Meere zuzuwenden, da deren Natur und Entstehungsart noch unvollkommen bekannt sind.

2. Eis der Gebirgsgletscher.*)

§ 100. Auf hohen Gebirgen wird der grösste Teil des fallenden Schnees in Vertiefungen zusammengewirbelt und gleitet von den Gehängen in Form von Lawinen in dieselben hinab. Reicht das Gebirge über die Schneegrenze hinaus, d. h. ist die Sommerwärme nicht genügend, um die Gesamtmasse des während des Jahres gefallenen Schnees zu schmelzen, so wird er von Jahr zu Jahr angehäuft. Sonnenbestrahlung, sowie Eindringen und Wiedergefrieren des Schmelzwassers verwandeln den Hochschnee in Firnschnee, ein lockeres Aggregat rundlicher Körner, welche aus Eis bestehen, an Luftblasen reich sind und vom Winde nur noch wenig verweht werden. Durch weitere Einwirkung des eindringenden und gefrierenden Schmelzwassers entsteht Firneis, ein festeres Konglomerat derselben Körner, welche durch Eiscement verkittet sind. Die Firnfelder, welche gewöhnlich die tieferen Teile weiter Hohlformen im Hochgebirge erfüllen und nach deren konkav abfallender Oberfläche die Schneehalden sich von den felsigen Seitenwänden unter Winkeln von selten mehr als 30^0 und höchstens 40^0 herabziehen, zeigen diese drei Modifikationen der festen Form des Wassers. Die körnigen Eismassen des Firnfeldes bilden den ersten Teil des Gletschers. Sie erfüllen bald eine einzige grosse, zirkusartige Hohlform, bald mehrere, zu einem Kessel sich vereinigende, durch Felsgrate getrennte Zuströmungsrinnen. Die muldenförmige Oberfläche senkt sich nach einem meist engern Gebirgsthale hinab, in welches die weitere Hohlform übergeht. In ihm lagert der zweite Teil des Gletschers, eine mächtige Eismasse, welche, zum Unterschiede gegen das Firnfeld, die Gletscherzunge genannt wird. In einer gewissen Höhenstufe, welche ungefähr der Jahresisotherme von 0^0 zu entsprechen scheint und in der Nähe der Grenze des ewigen Schnees liegt, verschwinden alle Firnbildungen. An ihrer Statt stellt sich Gletschereis ein, welches offenbar aus dem Firneise entstanden ist, aber einen andern Charakter hat. Es ist in diesem obern

*) Seit der Abfassung des Manuskriptes zu dem vorliegenden Werke hat die deutsche Litteratur von einem der hervorragendsten Gletscherforscher, Herrn Albert Heim in Zürich, in seinem „Handbuch der Gletscherkunde“ (Stuttgart 1885), ein Werk ersten Ranges über den hier behandelten Gegenstand erhalten. Dasselbe ist für jeden Gletscherforscher unentbehrlich. Einzelnes daraus konnte hier noch zu Nachträgen benutzt werden.

Teile durchsichtiges Eis mit einzelnen grösseren Luftbläschen. Das Firnkorn ist verschwunden. Aber das Eis ist durch Kapillarspalten ebenfalls in kleine Körner, die sogenannten Gletscherkörner, zerteilt. Sie berühren sich eng und sind nicht durch ein besonderes Eiscement getrennt. Eine beträchtliche Verdichtung ist eingetreten; denn während 1 cbm frischgefallenen Schnees 85 kg wiegt, beträgt das Gewicht derselben Raumeinheit Firneis 500—600 kg, von Gletschereis dagegen 900—960 kg. Ueber die Art, wie das Gletscherkorn an die Stelle des Firnkornes tritt, fehlt es an genauen Untersuchungen. Zu dem Eindringen des Schmelzwassers und dem Austreiben der sehr zahlreichen kleinen Luftbläschen mag die Druckwirkung als ein Hauptagens kommen; denn der Gletscher quillt gewissermassen aus dem tiefsten Teile der Firnmulde als ein fertiges Gebilde hervor; dort liegt daher seine Bereitungsstätte.

Als ein Eisstrom zieht die Gletscherzunge bis weit unterhalb der Schneelinie im Thale hinab nach wärmeren Höhenregionen, wo der Abschmelzungsprozess sich mehr und mehr steigert, bis er in einer gewissen, von verschiedenen Faktoren abhängigen, bei jedem Gletscher verschiedenen Meereshöhe demselben ein Ende setzt. Innerhalb der Strecke füllt der Gletscher das Thal, schwillt in Weitungen desselben seitlich an, zieht sich in Engen zusammen, nimmt andere Gletscher aus Seitenthälern auf und strömt, durch sie verstärkt und mit ihnen zu einem Ganzen vereinigt, fort, bis er die Region der letzten Abschmelzung oder das Meer erreicht. Da in den Firnregionen und an den Thalwänden über dem Gletscherbette die Zerstörung durch Spaltenfrost bedeutend ist, wird eckiger Gesteinsschutt, oft in grosser Menge, dem Gletscher zugeführt und auf seinem Rücken in Gestalt von Oberflächenmoränen abwärts getragen, bis er an der Stelle des Abschmelzens entweder abgelagert oder dem aus dem Gletscher sich entwickelnden, gewöhnlich reissenden Wildbache überliefert wird. Ein Teil des Schuttes jedoch gelangt durch Versinken in Spalten auf dem Wege nach abwärts allmählich auf den Boden des Gletschers und bildet im Vereine mit anderen dort fortbewegten Gesteinsmassen die Grundmoräne, die sich unter der Last des Eises mit diesem bis an das Ende fortschiebt und hier ebenfalls entweder liegen bleibt oder vom Wasser fortgerissen wird. Das letztere ist durch das feine Gesteinsmehl, welches durch die unter hohem Drucke sich vollziehende Korrosion der

Bestandteile der Grundmoräne gegeneinander und gegen die Felsunterlage entsteht, milchig getrübt.

a. Morphographische Beobachtungen.

§ 101. Das Vorkommen eines oder mehrerer Gletscher kann an sich eine Thatsache von Interesse sein. Gletscher finden sich zwar unter allen Breiten; aber die zu ihrer Bildung erforderlichen Temperaturverhältnisse, welche unter hohen Breiten in geringer Höhe über dem Meeresniveau, in äquatorialen Regionen auf hohen Gebirgen vorhanden sind, reichen allein zu ihrer Entstehung nicht aus, und es sind daher manche Gebiete, welche dieses erste Erfordernis besitzen, doch gletscherfrei. Eine wesentliche Bedingung sind mit Feuchtigkeit beladene Winde und die Kondensation dieser Feuchtigkeit in Gestalt von Schnee in solcher Menge, dass er im Sommer nicht abschmilzt und sich daher von Jahr zu Jahr fortschreitend anhäufen kann. Gebirge in Gegenden mit trockenen Sommern und niederschlagsreichen Wintern werden sehr stark mit Schnee beladen; aber die Grenze des beständigen Schnees, daher auch der Firnfelder, kann infolge starken Abschmelzens durch die sommerliche Wärme verhältnismässig hoch hinaufrücken. Ist das Verhältnis umgekehrt, so fällt im Sommer der Regen bis zu bedeutender Höhe und nimmt die geringe Schneedecke des Winters hinweg. Dies ist der Fall im ganzen östlichen Asien, welches deshalb trotz seiner reichlichen Niederschläge fast gletscherlos ist. Ragt aber in solchen Gegenden ein Gebirge bis in diejenigen Höhen auf, wo auch im Sommer die Niederschläge in Gestalt von Schnee erfolgen, so wird die Anhäufung des Schnees und die Bedingung zur Gletscherbildung in um so höherm Masse vorhanden sein. Daher erreichen die Gletscher an der Südseite des Himalaya und der Karakorumkette trotz sehr hoher Lage der Firnfelder eine ausserordentlich grosse Entwicklung. Am günstigsten scheint eine gleichmässige Verteilung der Niederschläge während des Jahres zu sein, weil dann die winterliche Schneedecke tief hinabreichen kann und der durch die Bewölkung kühl gehaltene Sommer ihre untere Grenze wenig hinaufschiebt. Dies ist im höchsten Masse der Fall in den patagonischen Anden. Wo sich vereinzelte Gletscher in Gegenden, die ihrer Bildung ungünstig sind, finden, wie am Munko Sardyk und an der Bielucha, den einzigen Bergen Sibiriens, von denen man sie kennt, oder in

einzelnen Teilen der Gebirge in den oberen Teilen der Strombecken des Gelben Flusses und des Yang-tszĕ-kiangs, sollten die zu Grunde liegenden klimatischen und Bodenverhältnisse genau geprüft werden.

Ausser dem Klima ist die Gestalt der Gebirge dafür entscheidend, ob sich ein Gletscher bilden kann oder nicht. Ein breiter Ruheplatz für den Schnee ist erforderlich. Er kann Hochflächencharakter besitzen, wie in Norwegen, oder die Gestalt von Hohlformen haben, wie in den Alpen, im Kaukasus und Himalaya; aber er muss vorhanden sein. Vereinzelte Kegelberge ohne solche für die Lagerung geeignete Plätze sind daher, wenn sie auch noch so hoch aufragen, für die Gletscherentwicklung ungünstig.

Bei der eingehenden Untersuchung eines Gletschers bieten sich zahlreiche Gegenstände für die Messung und graphische Darstellung. Doch vermag, wer flüchtig grosse Gletschergebiete durchstreift, nur dem einen oder andern Gesichtspunkte Aufmerksamkeit zu widmen, da die meisten Beobachtungen viel Zeit erfordern.

Zuerst sind die horizontalen und vertikalen Verhältnisse festzusetzen. Gleich einem Gebirgsstrome besteht der Gebirgsgletscher aus einem erweiterten Sammelbecken und einem Ausflusskanale, welcher zugleich die Funktion einer Strecke grössten Transportes und stärkster Erosion hat. Dasselbe gilt für jeden sich mit ihm vereinigenden Seitengletscher. Die dritte Staffel der Gebirgsströme, diejenige der Ablagerung, ist vorhanden, gehört aber in Gebirgen gewöhnlich nicht dem Gletscher selbst an, da dieser oft schon innerhalb des Erosionskanals sein Ende erreicht. Die Gestalt beider Teile sollte zur genauen Darstellung kommen. Die Meereshöhe muss an verschiedenen Stellen gemessen werden; zunächst am untern Ende, wobei zugleich Erkundigungen einzuziehen oder Beobachtungen anzustellen sind, ob in jüngster Zeit Schwankungen in der Lage des Gletscherendes vorgekommen sind, sodann am obern Ende der Firnregion. Diese fällt nur in einzelnen Fällen mit den umgebenden Gebirgshöhen zusammen; denn abgesehen davon, dass diese oft felsig und schroff, ohne Schneedecke, aufragen, entsteht in sehr grossen Höhen kein Firn; der Schnee bildet dort lockere, trockene Anhäufungen, welche vom Winde aufgewirbelt und zum Teile in die Firnregion hinabgetragen werden. Aus dem Vergleiche der Differenz der Meereshöhe am

untern und obern Ende des Gletschers mit dem Horizontalabstande beider Orte ergiebt sich der mittlere Neigungswinkel an der Oberfläche. In den Alpen sind 3^0—6^0 häufige Mittel der Neigung; 7^0—8^0 kommt noch oft vor, aber niemals ein Mittel von mehr als 10^0. Streckenweise geht die Neigung auf 2^0 und selbst 0^0 herab, und an einzelnen Stellen steigt sie auf 20^0—30^0. Es ist jedoch zu bemerken, dass der Abdachungswinkel des Gesamtgletschers von geringerer Bedeutung ist als die getrennten Werte für die Neigung der Firnfläche einerseits und der Gletscherzunge andererseits. Von Interesse würde es sein, das Gefälle des Gletscherbodens zu bestimmen und mit der der Oberfläche zu vergleichen. Dies ist an bestehenden Gletschern nicht ausführbar, sollte aber umsomehr bei Untersuchung verlassener Gletscherbetten berücksichtigt werden.

Wichtig ist es, die Meereshöhe der Schneelinie zu bestimmen, sowie der Zone, in welcher Gletschereis an Stelle von Firneis zuerst erscheint. Dieser Uebergang ist überhaupt in verschiedener Beziehung von Bedeutung. Oberhalb ist das Nährgebiet, unterhalb das Gebiet der fertigen Entwicklung, mit der schon die ersten Stadien der Auflösung eintreten, die weiter hinab in diejenigen des Absterbens übergehen. Bei den Alpengletschern liegt die Firnlinie häufig nahezu in der Mitte zwischen oberstem und unterstem Gletscherende. Das Areal des Firnfeldes ist in den Alpen grösser als das des Gletschers. Das Verhältnis schwankt zwischen 1,5 : 1 und 7,5 : 1. Hierüber wären vergleichende Angaben aus anderen Gebirgen erwünscht.

Die Feststellung des untern Gletscherendes gewinnt an Interesse, wenn sie für alle Gletscher eines grössern Gebietes vergleichend durchgeführt wird, und die Temperaturverhältnisse der betreffenden Höhenzonen bekannt sind. In Ermanglung hinreichenden Anhaltes sollte man die Vegetation der Umgebungen des Gletscherendes nach Gattungen und Arten zu charakterisieren suchen. Die Tiefe, bis zu der dasselbe hinabreicht, hängt in erster Linie von der Grösse des Sammelbeckens und der Menge des Schneefalls in demselben ab; daher erstrecken sich die Gletscher von Neuseeland und Patagonien bis in die Regionen der immergrünen Wälder hinab, welche freilich ihrerseits dort ungewöhnlich hoch hinaufreichen. Hat ein Gletscher ein kleines Sammelbecken, so kann dies durch

die Aufnahme einer grössern Zahl von Zuströmungsgletschern ausgeglichen werden.

Das Querprofil eines Gletschers schwankt in seinen einzelnen Teilen. Im normalen Zustande ist die Oberfläche der Gletscherzunge gewölbt, weil die von den Wänden des Gebirgsthales reflektierten Wärmestrahlen abschmelzend, daher erniedrigend auf die seitlichen Teile wirken. Lagern aber auf diesen grosse Schuttmassen, so wird das Abschmelzen gehemmt, und der Gletscher bekommt im Gegenteile eine konkave Gestalt.

Die Dicke des Eises lässt sich bei grossen Gletschern nur schätzen. Senkt man in ungewöhnlich tiefe Spalten ein Lot herab, so erhält man wenigstens ein Minimum der Mächtigkeit. In den Alpen hat man die Dicke des Firnes zu 300 bis 500 m, diejenige des Gletschereises am obern Ende zu 200 bis 300 m geschätzt. Von da nimmt sie ab, und am untern Ende beträgt sie meist nur 15—30 m. Sehr viel höhere Zahlen würde man im Himalaya und Karakorum erhalten.

b. Bewegungserscheinungen.

§ 102. Die gesamte Eismasse des Gletschers bewegt sich allmählich in ihrem Bette hinab. Die Art der Bewegung hat manche Analogie mit der des Wassers in einem Strombette. Das Fortschreiten geschieht am langsamsten an den Seiten, am schnellsten in der Mitte, wie man an der Verschiebung einer Reihe von Stäben wahrnehmen kann, welche man in einer geraden Linie zwischen zwei festen, einander gegenüberliegenden Uferpunkten in das Eis einsenkt. Sie ordnen sich bald in eine Kurve, die sich mehr und mehr nach abwärts verlängert. Die Bewegung wird beschleunigt, wo das Strombett sich verengt, und verzögert sich an Stellen der Erweiterung. Wo dasselbe sich krümmt, ist der Ort der schnellsten Bewegung nicht mehr in der Mittellinie, sondern liegt bei jeder Biegung zwischen ihr und der konvexen Grenzlinie; zugleich zeigt sich an der konkaven Seite ein Schwellen des Eises. Ist der Gletscher gezwungen, eine in der Mitte aufragende Felsmasse beiderseits zu umgehen, so bäumt sich das Eis an der Stossseite auf, während seine Oberfläche an der Leeseite vertieft ist und in der Sommerzeit einen See tragen kann. Aehnlich ist es, wo sich der Strömungsrichtung eine Felswand rechtwinklig entgegenstellt, und das Eis zu seitlicher Ausbiegung genötigt wird. Auch hier steigt es an der Stossseite an, und dieser Erhebung entspricht,

falls die Felswand einen Vorsprung begrenzt, jenseits eine Vertiefung. Von Interesse wäre es, zu beobachten, ob die scharfe Ablenkung eine Bewegung verursacht, welche eine, wenn auch noch so unvollkommene Analogie mit den unter gleichen Umständen in fliessendem Wasser sich vollziehenden Wirbeln (s. Fig. 30 auf S. 144) darbietet; es würde sich daraus ein entsprechender mechanischer Effekt an Wänden und Sohle ableiten lassen, der sich in dem Ausdrehen eines gerundeten Beckens äussern müsste. Wie bei der Strömung des Wassers, ist auch die Bewegung des Eises der Gletscherzunge an der Oberfläche schneller als am Boden, aber es ist noch nicht möglich gewesen, die relativen Werte und die Gestalt der Kurve in irgend einem Falle festzusetzen.

Um die Bewegungen an der Oberfläche zu messen, müssen erst die Ufer des Eisstromes graphisch genau festgelegt sein. Bezeichnet man die im Eise befestigten Stäbe mit Nummern oder Farben und beobachtet sie von einzelnen entlang den Ufern gewählten Fixpunkten, so kann man das Vorrücken der ersteren in kürzeren oder längeren Perioden festsetzen. Sollen die Beobachtungen vollständig sein, so müssen sie zur Tages- und Nachtzeit und in verschiedenen Jahreszeiten wiederholt werden, da sich gezeigt hat, dass die Bewegung durch Wärme beschleunigt und derjenigen des Wassers ähnlicher wird. Sie ist im allgemeinen zur Tageszeit stärker als zur Nachtzeit, im Sommer stärker als im Winter, am gleichmässigsten im Herbste. Man will sogar ein nächtliches Rückströmen des Eises stellenweise beobachtet haben; doch bedarf dies weiterer Prüfung. Die periodischen Unterschiede erweisen sich im allgemeinen um so geringer, je grösser und je steiler der Gletscher ist. Sie nehmen zu bei hoher Winterkälte und sind deshalb, ebenso wie wahrscheinlich aus manchen anderen Gründen, in verschiedenen Jahren sehr verschieden. Zu beachten ist die Beziehung der Strömungsgeschwindigkeit zu dem Neigungswinkel an der Oberfläche. Sie wächst mit der Neigung, steht aber, wie es scheint, in weit geringerer Abhängigkeit zu ihr als bei dem Wasser. Horizontalität der Oberfläche hebt die Bewegung nicht auf. Von noch höherm Interesse wäre die Beziehung der letztern zu der Neigung der Unterfläche, besonders wenn diese in der Längsrichtung eine konkave Gestalt hat. Doch kann man nur an verlassenen Gletscherbetten feststellen, ob eine Bewegung durch solche Hohlformen hindurch überhaupt statt-

gefunden hat; über ihr Mass und über die relative Mächtigkeit, welche das Eis in verschiedenen Teilen des Längsschnittes hatte, wird sich kaum Sicheres erreichen lassen. Wahrscheinlich ist es, dass die Neigung der Oberfläche sehr mächtiger Gletscher fast nur von dem Durchschnittsgefälle der Sohle beeinflusst wird, und dass sich deren Gefällswechsel in Teilstrecken umsomehr äusserlich zu erkennen giebt, je geringer im Verhältnisse zu den Unebenheiten die Dicke des Eises ist.

Ein anderer Gegenstand der Messung ist die relative Geschwindigkeit der Bewegung in den einzelnen Längsabschnitten des Gletschers. Was die Gletscherzunge betrifft, so ist die grössere Geschwindigkeit bald in den höher, bald in den tiefer gelegenen Strecken des Eisstromes gefunden worden. Es wird darauf ankommen, den Einfluss des Gefälles zu eliminieren, um diesen Faktor rein zu erhalten. Auch wird ein bestimmteres Resultat nur aus zahlreichen Vergleichungen abgeleitet werden können. Ueber die Bewegungen im Firngebiete liegen wenige Beobachtungen vor. Es scheint daraus hervorzugehen, dass der Betrag der horizontalen Verschiebung nach abwärts gering ist. Hier scheint vielmehr ein vertikales Herabsinken nach Massgabe des steten Ersatzes von oben und des Abfliessens aus den tieferen Teilen vorzuwalten. Der Gesamtbetrag der täglichen horizontalen Bewegung ist bei den grossen Alpengletschern zu 0,2—0,8 m im Mittel gemessen worden. Den Jahresbetrag hat man zu 50—130 m, in Ausnahmefällen bis 300 m bestimmt. Im Himalaya wurde während des Sommers ein tägliches Vorschieben von 2 bis 3,7 m wahrgenommen. Es ist berechnet worden, dass der niederfallende Schnee zur Zurücklegung seiner verschiedenen Metamorphosen in Firneis und Gletschereis bis zu dem letzten Abschmelzen am untern Ende bei der Mehrzahl der Alpengletscher eines Zeitraumes von 60—100 Jahren, bei einigen jedoch von 300 und selbst 400 Jahren bedarf.

Eine augenfällige, die Bewegung begleitende, in der äusserst geringen Dehnbarkeit des Eises beruhende Erscheinung besteht in der Bildung von Spalten. Sie haben verschiedene Richtung, je nach der Ursache, welche die ihnen zu Grunde liegende Spannung hervorrief. Als Wölbungsspalten oder Querspalten kann man diejenigen bezeichnen, welche an Stellen schnellen Ueberganges zu steiler Neigung, d. h. an den Rändern der Querstufen des Thalbodens (§ 93), entstehen und

sich durch die Divergenz ihrer Wände nach oben auszeichnen. Sie entstehen fortdauernd neu an derselben Stelle, immer in der gleichen Weise. Uebersteigt die Höhe einer steilen Stufe die Mächtigkeit des Gletschereises, so wird die Kontinuität unterbrochen; jedes einzelne senkrecht stehende Querblatt des sich zerspaltenden Gletschers stürzt der Reihe nach herab, um unten wieder zu einer kompakten Gletschermasse zusammengeschweisst zu werden. Eine andere Kategorie sind die Randspalten oder Zugspalten. Sie entstehen gewissermassen durch ein Auseinanderziehen des Eises, welches gegen Zug ganz unnachgiebig ist und daher reisst, und sind eine unmittelbare Folge der fliessenden Bewegung. Da nämlich vermöge des schnellern Vorschreitens der Mitte jeder geradlinige Querschnitt sich in eine thalabwärts gerichtete Zunge verwandelt, die Linie derselben sich mithin allmählich um ein Mehrfaches verlängert, so konvergieren die Linien des grössten Zuges in derselben Richtung (thalabwärts) miteinander und divergieren mit den Uferlinien. Es entstehen Spalten rechtwinklig zu den Zuglinien. Sie klaffen nahezu gleichmässig von oben nach unten und konvergieren miteinander thalaufwärts von beiden Seiten her unter Winkeln, deren Mittel ungefähr zu 90° angenommen werden kann. Eine dritte Art sind die Aufblätterungsspalten oder Längsspalten. Sie sind longitudinal gerichtet und entstehen dort, wo das Eis einen engen Raum verlässt und sich in einer Weitung seitlich ausbreitet. Das Gletscherende ist durch sie häufig in vertikal gestellte, radial angeordnete Blätter aufgelöst. Auch diese Spalten bilden sich stets wieder an derselben Stelle des Gletschers, was für die Zugspalten nicht in gleichem Masse gilt.

c. Physikalische Beschaffenheit des Gletschereises und Mechanismus der Bewegung.

§ 103. Die Bewegungsart der Gletscherzunge erinnert an diejenige einer zähflüssigen Masse. Die physikalische Beschaffenheit des Gletschereises aber hat mit der der zähflüssigen Substanzen, wie flüssiger Leim oder Pech oder warmer Siegellack, nur insofern Analogie, als es sich gegen Druck plastisch verhält und knetbar ist; sie weicht von ihr ab, indem das Gletschereis sich durch die Einwirkung von Zug nicht ausziehen lässt, sondern sich spröde verhält und reisst oder bricht. Es ist, wie Heim zu zeigen sucht, vielmehr als eine dickflüssige, breiartige Masse

zu bezeichnen, deren Wesen darin besteht, dass die innere Reibung grösser ist als die Kohäsion, während das umgekehrte Verhalten bei zähflüssigen Substanzen stattfindet. Eine solche Masse kann, der Gravitation allein folgend, in einem Thale von einem höhern nach einem tiefern Niveau hinabfliessen und die meisten der Eigentümlichkeiten darbieten, welche sich bei dem abwärts strömenden Gletschereise wahrnehmen lassen. Sie wird ihr Bewegungsmoment auch auf ebenem Boden durch den Druck der rückwärtigen Massen beibehalten, wie das Wasser eines Stromes. Es wird die Aufgabe der Forschung sein, zu untersuchen, ob in der That das Gletschereis den Anforderungen einer dickflüssigen Masse vollkommen entspricht und ob alle Eigentümlichkeiten der Bewegung durch die Eigenschaften einer solchen erklärt werden können, oder ob noch ein anderes Bewegungsmoment in den Vorgängen vorhanden ist, welche sich innerhalb der Gletschermasse wahrnehmen lassen. Einerseits leiten diese Vorgänge selbst darauf, ein solches mindestens als möglich anzunehmen; andererseits giebt es zwei weiterer Beweise bedürftige Erscheinungen, welche auf die Mitwirkung anderer Kräfte neben der Gravitation hindeuten. Die eine ist das Gleiten des Gletschers als Gesamtheit, auf welches Heim, als neben der strömenden Bewegung bestehend, die Aufmerksamkeit gerichtet hat. Da selbst Gebirgsgletscher sich zum Teile auf einem Boden von sehr geringer Neigung bewegen, so kann ein Gleiten der Gesamtmasse bei dickflüssigem Zustande durch die Schwere allein kaum erklärt werden. Die andere Erscheinung betrifft den Umstand, dass die verlassenen Betten grosser Gletscher der Vorzeit kaum Zweifel lassen, dass das Eis sich in grossem Massstabe bergauf bewegt und nach derselben Richtung bedeutende mechanische Arbeit ausgeführt hat.

Aufklärung hierüber ist vor allem aus dem sorgfältigen Studium der innern Struktur des Gletschereises und der den Wandlungen derselben zu Grunde liegenden Vorgänge zu erwarten. Hierin scheint der Kernpunkt der Glacialmechanik zu liegen.

Das Gletschereis ist ein von dem Seeeise in manchen Beziehungen verschiedenes Gebilde. Letzteres ist einheitlich kristallisiert, indem die Achsen sämtlicher stengelartiger Kristalle einander parallel sind. Das Gletschereis hingegen besteht aus dicht aneinandergedrängten kristallinischen Körnern. Jedes Korn ist ein Kristallindividuum; die Kristallachsen aller einzelnen Körner aber sind, nach den Untersuchungen von

Klocke, gerade wie beim Marmor, verschieden orientiert. In den Alpen haben die Körner an der untern Firngrenze die Grösse einer Haselnuss, im mittlern Teile des Gletschers diejenige einer Walnuss, im untern diejenige eines Hühnereis. Der Durchmesser steigt in manchen Fällen auf 7—8, selbst bis 10 cm. Da das Abschmelzen durch Wärme an den Begrenzungsflächen, den sogenannten Haarspalten, beginnt, so werden die Körner gelockert. Sie zeigen sich dann an dem untern Gletscherende ineinander verzackt, sodass man sie schwer trennen kann. Während Seeeis nur allmählich infolge innerer molekülarer Umformung gebogen werden kann, sind Tafeln von Gletschereis vermöge der Verschiebbarkeit der Körner biegsam wie Itakolumit. Das Gletscherkorn wurde in seiner Bedeutung von Hugi erkannt, von Grad, Hagenbach und besonders von Forel weiterm Studium unterworfen. Es ist klar, dass das Korn auf dem Wege nach abwärts allmählich wächst, daher auch (durchschnittlich) in jeder Einheit der Zeit, deren es zur Zurücklegung dieses Weges bedarf. Die Gesamtzunahme des Durchmessers ist bei Alpengletschern 1 : 4, diejenige des Volumens 1 : 64. Die jährliche Vergrösserung des Durchmessers berechnet Forel zu ungefähr 1,4 %.

Die wichtigsten hieran sich knüpfenden Fragen dürften die folgenden sein:

1) Ist das Gletscherkorn das fortgewachsene Firnkorn, wie Hugi und Grad annahmen, oder sind, wie Heim für wahrscheinlicher hält, die Körner aus einheitlicher Firneismasse durch Druck und Quetschung herausgebrochen und verstellt? In diesem Falle sollten am Ursprunge der Gletscherzunge die Achsenstellungen weniger voneinander abweichen als weiter hinab. Es ist in Betracht zu ziehen, dass nach einigen Beobachtungen die Orientierung der Achsen gegen das untere Gletscherende hin eine gleichmässigere werden soll. Es wird wesentlich optischer Untersuchungen bedürfen, um das Verhältnis von Gletscherkorn und Firnkorn festzustellen.

2) In welcher Art wächst das Gletscherkorn? Forel hatte angenommen, dass Schmelzwasser von 0° entlang den Haarspalten in den Gletscher eindringe und sich durch Kristallisation abkühle, indem es an die einzelnen Individuen anwachse und dieselben vergrössere. Es wurde dabei vorausgesetzt, dass die Temperatur im Innern des Gletschers im Sommer, wenn das Wasser eindringt, nicht unter 0° herabgehe und sich in den tieferen Teilen so erhalte, bis alles Wasser gefroren sei, was

wahrscheinlich erst gegen Ende Januar erreicht werde, wenn an der Oberfläche längst eine kalte Temperatur eingetreten sei, die allmählich nach der Tiefe hinabgehe und sich dort noch forterhalte, wenn oben die Erwärmung auf 0^0 schon lange wieder begonnen habe. Die wirklichen Messungen der Temperatur im Innern der Gletscher geben noch keinen Anhalt, um von ihnen aus die Möglichkeit des Vorgangs zu prüfen. Forel nahm an, dass die Vergrösserung des Gletscherkornes, indem sie allein durch neu hinzutretendes Wasser geschehe und eine Volumenvermehrung in der Tiefe auf Kosten der abschmelzenden Oberflächenteile bewirke, die Bewegung des Gletschers veranlasse; daher müsse dieselbe am grössten in den oberen Strecken sein, wo alles Schmelzwasser auf die Vergrösserung der Körner verwendet und alle bei der Schmelzung verbrauchte Wärme in Arbeit umgesetzt werde; in den mittleren Strecken werde sie geringer sein, weil ein grosser Teil des Wassers abfliesse, in den unteren Strecken sei überschüssiges Schmelzwasser vorhanden, welches im Sommer die Eismasse verringere, im Winter aber noch zum Teil zum Anwachsen der Gletscherkörner verwendet werden könnne. — Diese geistvoll ausgearbeitete Theorie ist in neuester Zeit von Forel selbst aufgegeben worden. Die Vergrösserung des Gletscherkornes wird von Hagebach durch Ueberkristallisieren von einem Korne in das andere, von Heim durch das Zusammenfrieren mehrerer gleich orientierter Individuen erklärt.

3) Hat mithin das Anwachsen des Gletscherkornes, welches der wichtigste innere Vorgang im Gletschereise zu sein scheint, eine aktive oder eine passive Rolle bei der Bewegung des Gletschers; wird es durch Druck und Bewegung allein ursprünglich hervorgebracht und weiter unterhalten, wie schon Forbes meinte und Heim annimmt? Stellt es nur die gegeneinander verschiebbaren Teilchen der dickflüssigen Masse dar, welche dadurch einen grossen Teil ihrer Plastizität erhält; oder haben die früheren Forelschen Voraussetzungen nicht wenigstens eine partielle Berechtigung, und gestatten sie nicht, für das Gletscherkorn mindestens eine untergeordnete aktive Rolle bei dem Vorschieben des Eises, d. h. bei dem Gleitungsprozesse, anzunehmen? Wenn, wie Forel selbst gezeigt hat, das Schmelzwasser in einer für das Experiment benutzten Platte nicht in die Haarspalten einzudringen vermochte, so kann dies anders sein, wenn die Körner durch Druck, Zug,

Quetschung und Biegung gegeneinander verschoben werden. Dazu kommt das fortdauernde Freiwerden von Wasser infolge dieser Bewegungen. Wenn auch dasselbe sofort wieder gefriert, so hat es doch bereits einen kleinen Weg nach abwärts vollbracht. Da dieser Vorgang sich durch die ganze in Bewegung befindliche Masse in unendlicher Vervielfältigung wiederholt, so muss eine fortdauernde Volumenvermehrung tieferer Teile auf Kosten höherer eintreten. Ihr Betrag aber muss nach den grösseren Tiefen wegen der langsamern Bewegung abnehmen. Es dürften also doch vielleicht innere Vorgänge nicht ganz in dem früher von Forel angenommenen, aber immerhin in nahe verwandtem Sinne bei der Gletscherbewegung mitwirken.

Es scheint, dass sich als Hauptmotor die Schwere ergiebt, nach deren Gesetzen das Eis sich als ein Medium fortschiebt, welches infolge seiner Zusammensetzung aus individualisierten Körnern, zumal unter hohem Drucke, eine innere Verschiebbarkeit der Teilchen und hochgradige Umformungsfähigkeit besitzt. Dabei aber scheint eine innere, nach grösseren Tiefen an Intensität abnehmende Volumenvermehrung, und zwar jedes tiefern auf Kosten jedes höhern Teilchens, stattzufinden und, ihren äussern Ausdruck in dem Anwachsen des Gletscherkorns findend, bei der Fortbewegung, und zwar wesentlich bei dem Fortschieben oder Gleiten der gesamten Gletschermasse, mit wirksam zu sein.

Von anderen Besonderheiten des Gletschereises ist die Schichtung als allgemein verbreitet zu nennen. Sie ist stets deutlich im Firne, wo sie ersichtlich den Jahresniederschlägen entspricht. Je weiter thalabwärts, desto undeutlicher wird sie. Ferner ist die Blaubänderstruktur zu beachten, ein Phänomen, welches zwar bei jedem Gletscher vorzukommen scheint, aber immer auf einzelne Stellen beschränkt bleibt. Es besteht in einer Anordnung des Eises in gestreckte dünne Lagen, welche abwechselnd aus blasenreichem, leicht schmelzbarem, weisslich gefärbtem Eise und fast blasenfreiem, schwerer schmelzbarem, bläulichem Eise bestehen. Die Lamellen haben sehr verschiedene Stellung. In vielen Fällen stehen sie mit Sicherheit, in anderen mutmasslich senkrecht zu der stärksten Druckrichtung. Tyndall hat es wahrscheinlich gemacht, dass sie einer durch Druck hervorgebrachten transversalen Schieferung entsprechen. Die blauen Bänder beginnen in der Regel weiter abwärts, nachdem der Gletscher starke Kompression erlitten

hat, und stellen sich oft von einer bestimmten Stelle aus ein. Ist auch die Ursache dieser Struktur noch nicht völlig aufgeklärt, so ist es doch wenig zweifelhaft, dass sie auf einer passiven, infolge der Bewegungsvorgänge eintretenden innern Umformung oder molekülaren Verschiebung beruht.

Auf die auf die Arbeit der Gletscher bezüglichen Beobachtungen wird unten (§ 105 ff.) eingegangen werden.

3. Eisdecken und Gletscher der Polarländer.

§ 104. Schon in Skandinavien finden sich andere Verhältnisse als sie bei den Gebirgsgletschern der Alpen, des Himalaya, des Kaukasus, des Tiën-schan, der südlichsten Anden und der Südinsel von Neuseeland vorkommen. Gerade wie dort die auf moorigen Felsflächen entspringenden Flüsse bestimmt abgegrenzter Sammelbecken entbehren, so sind solche nicht für die einzelnen Gletscher individualisiert; sondern von einzelnen weit ausgedehnten und mächtigen, flach gewölbten Eisdecken, den Ueberresten der allgemeinen Vereisung des Landes, welche noch einigen Teilen der Hochfläche auflagern, gehen an den Rändern nach verschiedenen Seiten eine grössere Zahl meist kleiner Gletscher aus, die sich in den Felsthälern hinabziehen. Der gesamte Vorgang der Eisbewegung ist hier schwer zu studieren; aber sein Verständnis ist wichtig, weil es zu besserer Einsicht in das Wesen der Polargletscher führen würde. Dies gilt auch von den weiten Eisfeldern und zahlreichen Gletschern von Island, wo indes der gebirgige Charakter grössere Individualisierung der Sammelbecken schafft. Hier sind die Gletscher seit der ersten Zeit ihres Entstehens einem oft wiederholten Konflikte mit den vulkanischen Kräften unterworfen gewesen. Lavaströme brachen hindurch; Niederschläge von Asche bedeckten die Eisfelder und wurden von neuen Eisbildungen verhüllt. Sie sollten ebenso viele Grenzmarken für einzelne Epochen in der Geschichte der Gletscher geben; und wenn es gelingen könnte, sichere mineralogische Kennzeichen für einige geschichtlich bekannte, daher zeitlich zu fixierende Aschenfälle aufzufinden und die Reste derselben in verschiedenen Teilen eines Gletschers nachzuweisen, so könnten sich daraus wichtige Anhaltspunkte zur Ableitung der Bewegungsvorgänge ergeben.

In den Polarländern, soweit sie bekannt sind, herrscht ein weit gebirgigerer Charakter als auf den Hochflächen Skandinaviens.

Das Eis ist aber dort nur in einzelnen Gegenden, wie auf Spitzbergen, in den bis 3400 m aufragenden Gebirgen des nordöstlichen Grönland und, in kleinerm Massstabe, an den westlichen Küstenbergen von Grönland, auf die Thäler beschränkt und bietet dann alle Erscheinungsformen der Gebirgsgletscher dar. Seine vorherrschende Verbreitungsform besteht darin, dass es weite Erdräume kontinuierlich bedeckt. Die mit bewundernswerter Energie ausgeführten Eisreisen in das Innere (Bessels unter 78° N., Nordenskiöld unter 68° N., Jensen unter $62\frac{1}{2}$° N.) haben dieses Resultat in gleicher Weise ergeben. Die zusammenhängende Eisdecke von Grönland wird von Rink nach mässiger Berechnung auf 830 000 qkm geschätzt. Hier insbesondere sind auch die Höhenzüge so weit von ihr überkleidet, dass nur einzelne Felskämme (Nunatak) freibleiben. Nach den Forschungen von Nordenskiöld, der eine Meereshöhe von 1800 m erreichte, scheint diese die Unebenheiten verhüllende Decke im südlichen Grönlande die höchsten Teile zu überkleiden und sich allmählich gegen die Küsten zu senken. Der Neigungswinkel ist von Jensen (im Mittel einer 76 km langen Wegstrecke, die bis zur Höhe von 1570 m führte) zu 50 Minuten bestimmt worden. Die Abdachung scheint nicht ganz gleichmässig zu sein und dadurch den Eindruck sehr flacher Wellen zu veranlassen. Im einzelnen ist die Oberfläche in hohem Grade uneben und wird auf grössere Strecken einer gefrorenen hohlgehenden See verglichen.

Das Problem der Ausdehnung der grönländischen Eisdecke kann noch nicht als gelöst betrachtet werden. Die Nordenskiöldsche Voraussetzung eines im wesentlichen eisfreien Centralgebirges hat sich zwar durch seine eigenen kühnen Forschungen im südlichen Grönlande nicht bewährt, ist aber für das mittlere und nördliche noch zu prüfen, da der dortige geringe Schneefall, verbunden mit der Erwärmung, welche die unter einem schiefen Winkel einfallenden Sonnenstrahlen an den ihnen zugewendeten Berggehängen hervorrufen müssen, es nicht unwahrscheinlich machen, dass, falls höhere Gebirge vorhanden sein sollten, ein jährliches schnelles Abschmelzen an ihnen und zugleich, infolge der Refraktion, eine Abnahme des Eises in ihrer nächsten Umgebung stattfindet.

Es ist ferner die Ausbreitung der Eisdecke gegen die Küsten, vor allem das periodische Vor- und Rückschreiten der Grenze derselben an denjenigen Stellen, von welchen Aufzeichnungen vorliegen, oder wo die natürlichen Verhältnisse sichere

Schlüsse gestatten, zu beachten. Die eisfreien Küstenstriche sollten daher bei polaren Reisen, wie es schon zum Teile durch verdienstvolle Forscher geschehen ist, mit grosser Genauigkeit auf Karten niedergelegt werden, um den Nachfolgern einen Anhalt zu Beobachtungen über stattgehabte Veränderungen zu geben.

Soweit sich die Verhältnisse überblicken lassen, entspricht das allmähliche Ansteigen der Oberfläche gegen das Innere einem im Mittel ebenfalls allmählichen Ansteigen des Bodens von der gebirgigen und felsigen Westküste nach einem hohen Rückgratgebirge im Innern, welches ehemals die Wasserscheide von Flüssen bildete. Aber der Ebenmässigkeit der Oberfläche steht offenbar eine grosse Unebenheit der Unterlage gegenüber, welche eine Anzahl wohl ausgebildeter, verzweigter, in das Gebirgsgerüst eingesenkter Thalsysteme darzustellen scheint. Darauf weisen die deutlich ausgesprochenen Thalenden an der Westküste, ihre gebirgigen Querscheiden daselbst und das Aufragen der Nunatakr. Die Unterschiede der Dicke des Eises und des ihr entsprechenden vertikalen Eisdruckes am Boden können daher an nahe benachbarten Stellen den Betrag von 1000 m erreichen und überschreiten. Dies muss auf die Verteilung und den Modus der Bewegung von grösstem Einflusse sein.

Ein solcher Einfluss giebt sich entlang der ganzen westlichen Eisgrenze deutlich zu erkennen. Sie ist fast unbeweglich auf den die Thäler scheidenden Höhen oder ändert sich doch dort nur im Verlaufe längerer Zeiträume. Das Vorschieben des Eises kann daher dorthin nur in demselben Massstabe geschehen, in welchem die Ablation der Eiskante durch Abschmelzen sich vollzieht. Dazwischen liegen die Thäler, deren untere Ende tiefe Fjorde sind. Hier münden die Eisströme, und zwar liegt die Sohle, auf der sie sich fortschieben, in einer erheblichen, aber nicht bestimmbaren Tiefe unter dem Meeresniveau. Die Geschwindigkeit dieser Eisströme erreicht den erstaunlichen Betrag von 3—22 m in 24 Stunden, scheint also, wenn man sie mit den Gebirgsgletschern, denen auch die kleinen selbständigen Gletscher der von der Eisdecke freigelassenen Gebirge der Westküste entsprechen, vergleicht, in direktem Verhältnisse zu der Länge und Verzweigung der in das Gebirgsgerüst eingesenkten Thäler und zu der Mächtigkeit des Eises zu stehen, während der Einfluss der Neigung des Strombettes als verschwindend zurücktritt. Der Gesamtbetrag des

Eises, welches diese Eisströme der Westküste in einer Zahl von mehr als 100, dem Meere in Gestalt von Eisbergen überliefern, wird zu mehr als 100 Kubikkilometer geschätzt.*)

Es bieten sich vor allem zwei Probleme dar. Das eine betrifft die jährliche Zufuhr von Niederschlägen aus der Atmosphäre und die Verwandlung eines Teiles derselben in Gletschereis, das zweite die Art und Verteilung der Bewegung des Eises. Was das erstere betrifft, so sind die Niederschläge in polaren Gegenden im allgemeinen wegen des geringen absoluten Feuchtigkeitsgehaltes der kalten Luft nicht bedeutend und nehmen von dem südlichen Grönlande und den nordöstlich davon gelegenen Eismeerinseln gegen das nördliche Grönland und das arktische Amerika hin ab. Sie bestehen fast ausschliesslich aus Schnee. Während des langen Sommertages ist die Gesamtwirkung der Sonne beträchtlich. Daher schmilzt der Schnee in Regionen, welche eine erheblich unter 0^0 herabgehende Jahrestemperatur haben, besonders an Gehängen, welche die Sonnenstrahlen unter steilerm Winkel erhalten. Das Schmelzen von Schnee und Eis wird durch die geringe Wärmekapazität fast mikroskopischer Algen und feiner mineralischer Staubteilchen vermehrt, welche durch die Atmosphäre über die Oberfläche ausgestreut werden. Ausserdem wird in einzelnen Gegenden, wie im westlichen Grönlande, selbst im Winter ein Abschmelzen durch Föhnwinde bewerkstelligt. Die Grenze des ewigen Schnees weicht daher in polaren Gegenden nach den Höhen zurück und erreicht, soweit die Beobachtungen sich erstrecken, nirgends das Meeresniveau. Auf geneigtem Boden ist Phanerogamenvegetation an Stellen beobachtet worden, wo die Temperatur des Jahresmittels auf — $8{,}5^0$ C. geschätzt wird. Mit der Schneegrenze zieht

*) Dieser grosse Betrag liegt vollkommen innerhalb des Bereiches der Wahrscheinlichkeit. Rechnet man nur die Hälfte der Eisdecke von Grönland mit 450 000 km² für die Westküste, so liefert jeder Quadratmeter derselben eine Eismenge von 200 kg (indem die obigen 100 km³ bei einem Gewichte von 900 kg für 1 m³ ein Gesamtgewicht von 90 000 000 000 000 Eis darstellen). Nimmt man aus den für einige Orte an der Westküste erhaltenen Werten ein durchschnittliches Jahresmittel der Niederschläge von nur 400 mm (was wahrscheinlich zu niedrig ist) für den betreffenden Teil von Grönland an, so ist das gleichwertig mit einem Wassergewichte von 400 kg auf 1 m². Es würde nach dieser Berechnung für wässerigen Abfluss und Verdunstung noch ein ebenso grosser Betrag bleiben als durch die Eisströme geliefert wird.

die Region der Firnbildung nach grösseren Höhen. Sie ist von der hochnordischen Expedition von Hayes erreicht worden. Die anderen bewegten sich auf Eis, welches entweder frei lag oder mit Wasser oder neuem Schnee bedeckt war. Es ist aber die Möglichkeit vorhanden, dass trotz mangelnder Firnbildung ein Teil der Niederschläge in Gletschereis verwandelt wird. Denn auch in den höher gelegenen Regionen sind die der ersten Firnbildung zu Grunde liegenden Vorgänge während des grössten Teils des Jahres nicht vorhanden.

Das zweite Problem, welches die Bewegung des Inlandeises betrifft, wird wahrscheinlich zum Teile nur einer theoretischen Lösung fähig sein. Man wird zwischen derjenigen an der Oberfläche und derjenigen in der Tiefe zu unterscheiden haben. Die erstere würde sich direkt beobachten lassen, wenn man eine hinreichende Anzahl fester Punkte finden könnte. Es lassen sich jedoch nur die weitzerstreuten Nunatakr dazu verwenden. An einigen von diesen ist eine Eisbewegung wahrgenommen worden. Sie verhalten sich wie die vom Eise der Gebirgsgletscher umströmten isoliert aufragenden Felsen indem das Eis auf der Stossseite ansteigt, auf der Leeseite eine Vertiefung der Oberfläche zeigt. Oberflächenmoränen gehen von ihnen aus, erstrecken sich aber meist nicht weit. Auch ist an der Stossseite Schutt in grossen Massen angehäuft. Es wäre von Interesse, festzustellen, ob derselbe von den daneben anstehenden Felsen stammt oder davon verschieden ist. In letzterm Falle würde er als eine aufwärts geschobene Grundmoräne zu betrachten sein. Ein anderes Kennzeichen der Bewegung an der Oberfläche sind die Spalten, welche oft eine grosse Länge erreichen.

Die Art der Bewegung in der Tiefe entzieht sich der Beobachtung. Anhaltspunkte für ihre Beurteilung ergeben sich aus dem Verhältnisse der Geschwindigkeit der Eisströme in den Thälern und des relativ ruhenden Eises auf den trennenden Höhen, sowie aus dem Umstande, dass unter dem Eise das Wasser auch im Winter beständig fliesst. Wenn, wie bei den Gebirgsgletscherzungen, die Bewegung in dem Herabströmen einer plastischen Masse auf geneigtem Untergrunde bestände, so könnte sie in allen Teilen nur äusserst langsam stattfinden, und sie würde entlang der ganzen Eiskante nur geringe Unterschiede darbieten können; denn wenn man von den Ursprungsgebieten Linien grössten mittlern Gefälles nach der Eisgrenze hinab-

zieht, und wenn man in der Richtung dieser Linien die Schwerpunkte der höheren Teile mit denen der entsprechenden unteren Teile verbindet, so werden sich äusserst geringe Winkelunterschiede ergeben. Immerhin dürfte die erweisbare Gesamtbewegung des Eises von den höheren Teilen gegen die äusseren Grenzen dem Abwärtsströmen einer plastischen Masse nach den Gesetzen der Gravitation entsprechen, hinsichtlich des Masses der Bewegung aber mancher örtliche Unterschied obwalten. Anders verhalten sich die mit schneller Bewegung begabten Eisströme der Rinnen. Es liegt nahe, sich hier der Experimente von Spring zu erinnern, welche beweisen, dass Substanzen von äusserst geringer Plastizität unter hohem Drucke durch eine Oeffnung in Gestalt eines Stromes ausgepresst werden können. Da nun das Eis der tiefen Teile infolge der hochgradigen Belastung, der Schmelzung durch Druck und durch innere Reibung, welche nach einmal eingetretener Bewegung konstant erhalten wird, einen bedeutenden Grad von Plastizität erreichen muss, so kann es in den tieferen Kanälen in Gestalt von Eisströmen herausgepresst werden. Es ist dabei auch noch zu berücksichtigen, dass bei grosser Mächtigkeit des Eises die Isogeotherme von 0^0 in den Eiskörper hinaufrücken kann. Sind diese theoretischen Folgerungen richtig, so muss die Kraft und die Geschwindigkeit der Strömung mit der Mächtigkeit des Binneneises zunehmen und würde, wenn diese um 500 m vermehrt wäre, einen sehr grossen Betrag erreichen. Die Eisströme würden, wenn sie auf eine schief ansteigende Festlandsebene mündeten, mit grosser Gewalt auf dieser aufwärts getrieben werden und sich vermöge ihrer Plastizität seitlich ausbreiten und verbinden, um als einheitliche Gletschertafel den Weg nach aufwärts fortzusetzen. So liegt in der Beobachtung der Eisbewegung im westlichen Grönlande die wahrscheinliche Lösung der schwierigsten mechanischen Probleme, welche mit der grossen Vergletscherung der Eiszeit verbunden sind.

Die Oberflächenteile des Inlandeises scheinen somit, trotz ihrer physikalischen Verschiedenheit von Firneis, doch mechanisch die Rolle des letztern auszuüben. Die Beobachtungen über die Struktur des Eises erlangen dadurch eine hohe Bedeutung, vor allem diejenige über das Gletscherkorn. Es ist bekannt, dass es in den arktischen Eisströmen eine ungewöhnliche Grösse erreicht. Die Struktur des Eises in verschiedenen anderen Teilen sollte damit verglichen werden.

4. Kennzeichen früherer Vergletscherung.

a. Mechanische Arbeit der bestehenden Gletscher.

§ 105. Die Gletscher sind vermöge des ihnen innewohnenden Bewegungsmomentes mechanische Werkstätten. Daher ist ihre vormalige Anwesenheit an den zurückgelassenen Spuren der verrichteten Arbeit zu erkennen. Da der Betrag dieser Arbeit erst an den verlassenen Werkstätten vollkommen erkannt werden kann, so soll dieser Gegenstand erst später (§§ 107—112) behandelt werden. Es genüge hier ein flüchtiger Hinweis auf die Arten der Arbeit, welche man an den gegenwärtigen Gletschern wahrnimmt. Sind sind 1) der Transport von eckigem, durch Spaltenfrost losgelöstem Gesteinsschutte auf ihrem Rücken und Ablagerung desselben am untern Gletscherende; 2) die Fortbewegung von abgestossenen, zum Teile unvollkommen gerundeten und geschrammten Gesteinsfragmenten von der verschiedensten Grösse bis zu feinerdigen Trümmermassen herab, auf dem Boden des Gletschers bis zu seinem untern Ende: 3) die Fortführung von Gesteinsmehl durch den unter dem Eise hervorströmenden Wildbach, dessen Wasser dadurch weisslich gefärbt wird. Das Material von 1 bildet die Oberflächenmoränen, dasjenige von 2 einen Teil der Grundmoräne, das von 3 wird der Grundmoräne entnommen und ist offenbar durch Zermalmen und Zerreiben von festem Gesteine entstanden. Das gesamte Material, soweit es nicht sogleich von strömendem Wasser fortgeführt wird, häuft sich, wenn das Gletscherende durch längere Zeit an derselben Stelle verweilt, zur Endmoräne auf. Zieht der Gletscher sich zurück, so bleibt die Endmoräne liegen, und es wird hinter ihr ein Teil der Grundmoräne freigelegt; schreitet er vor, so stösst er die erstere teilweise vor sich her, zieht aber, besonders wo die Möglichkeit zu seitlicher Ausbreitung seine Stosskraft lähmt, allmählich über sie hinweg, breitet und glättet sie aus und verwandelt sie in Grundmoräne, die nun wiederum am Boden langsam nach vorwärts wandern kann. Ausserdem bemerkt man, wenn der Gletscher sich zurückzieht, die Seitenwände senkrecht oder steil gestaltet, selbst horizontal ausgehöhlt, der vorspringenden Ecken und Kanten entkleidet, geglättet und geschrammt. Aehnlich verhält es sich am Boden.

Bei Polareis sieht man die Oberflächenmoränen häufig durch vereinzelte Gesteinsstücke, besonders in der Nähe von Fels-

wänden, selten durch langgezogene Halden, vertreten; am untern Ende zeigen sich einzelne Fragmente von Gestein mitten im Eise. Die Grundmoräne ist selten beobachtet worden; aber das am Boden der Eisströme fliessende und an ihren Enden in den Fjorden nach oben dringende Wasser ist milchig gefärbt. Wo das Eis sich zurückgezogen hat, wie an mehreren Stellen der Westküste von Grönland, erkennt man an der Oberfläche des Felsbodens glattgeschliffene und geschrammte Rundhöcker *(roches moutonnées)*, auf welchen fremdartige Gesteinsblöcke lagern.

b. Frühere Vergletscherung.

Diese Merkmale haben bekanntlich dazu geführt, die ehemalige weite Verbreitung von Gletschern nachzuweisen. Grundmoräne, Endmoräne, geschliffene und geschrammte Felsen, erratische Blöcke und Rundhöcker sind sichere Kennzeichen ihrer frühern Anwesenheit.

Der Nachweis einer Vergletscherung in der Vorzeit ist schon über bedeutende Landstriche mit Sicherheit geführt worden. Doch bedürfen bei dem jetzigen Stande der Kenntnis viele der älteren Angaben einer sorgfältigen Revision, sowohl was die angebliche Anwesenheit, als was die Abwesenheit von Gletscherspuren betrifft. Erstere ist z. B. in Hinsicht auf Klein-Asien und den Sinai zu prüfen. Schuttbildungen aller Art, Lateritanhäufungen mit festen Gesteinsfragmenten und andere Gebilde sind als Moränenschutt erklärt worden. Es ist daher die positive Angabe von Gletscherspuren durch sichere Nachweise zu belegen. Weniger schädlich ist der entgegengesetzte Irrtum, dass ein Gebiet als frei von Gletscherspuren erklärt wurde, wo man sie später findet. Insbesondere sind die negativen Zeugnisse für die Balkanhalbinsel, den Altai und überhaupt das ganze nördliche und östliche Asien zu prüfen. Die jetzigen sporadischen Gletscher in Tiënschan, Altai und Sayanschen Gebirge machen es wahrscheinlich, dass dort die Verbreitung eine grössere gewesen ist. Auch weiter nordöstlich dürften noch Spuren der Vereisung in den Gebirgen nachzuweisen sein.

Erst seit kurzer Zeit ist die Bedeutung der Grundmoräne unter den Merkmalen ehemaliger Vergletscherung vollkommen erkannt worden. Vor anderen Gesteinsanhäufungen zeichnet sie sich dadurch aus, dass die Fragmente nicht nur, wie bei den Endmoränen, die verschiedenste Grösse haben, sondern sich auch in sehr verschiedenem Grade der Abnutzung

und Abrundung befinden, einige von ihnen mit scharf eingeritzten Linien und Furchen versehen sind, und das Ganze ein wirres und ungeschichtetes Haufwerk bildet, in dessen Anordnung die Grösse und Gestalt der Gesteinsstücke gar keine Rolle spielt. Das fein zermalmte Gestein, welches, mit gröberen Trümmern gemengt, die Zwischenräume zwischen den Gesteinsstücken ausfüllt, fühlt sich rauh an, hat aber oft eine lettige Beschaffenheit angenommen, welche durch begonnene Zersetzung erhöht wird. Die Grundmoräne bildet daher einen für Wasser schwer durchlässigen Boden. Wo sie in grosser Masse angehäuft ist, hat sie eine regellose Oberfläche, deren Vertiefungen oft mit Seen erfüllt sind oder wiesenbedeckten Seeboden enthalten. Die Zersetzbarkeit des Gesteins schafft fruchtbares Erdreich.

Die Grundmoräne nimmt zuweilen Schichtung auf eine Strecke an, oder es kommen Wechsel von geschichteten Ablagerungen und ungeschichteter Grundmoräne vor. Sie sind besonders im norddeutschen Schwemmlande nachgewiesen worden. Die Entstehungsgeschichte ist von Fall zu Fall zu untersuchen. Wo immer Schichtung vorhanden ist, rührt sie von Ablagerung aus Wasser her; dasselbe kann stehend oder fliessend gewesen sein. Die Abschmelzung beim Rückzuge und das erneute Vordringen des Gletschers konnten eine grosse Mannigfaltigkeit der Erscheinungen hervorrufen. Für die Feststellung solcher Episoden ist jeder Fund von organischen Resten in den Schichtgebilden von besonderm Werte.

Endmoränen stellen sich ebenfalls als ungeschichtete Trümmermassen dar. Da sie Ruhepausen im Rückzuge eines Gletschers bezeichnen, bewahren sie die bogenförmige Randgestalt des Zungenendes desselben, am vollkommensten, wenn sie im offenen Lande gelegen sind, wo der Gletscher sich ausbreiten konnte; in engen Thälern bilden sie einen einfachen Wall. Häufig lagert die Endmoräne auf der Grundmoräne. Auch die Seitenmoränen haben bei dem Rückzuge von Gebirgsgletschern ihre Spuren zurückgelassen, oft in Gestalt von Blöcken, welche an den Gehängen des Felsbettes liegen geblieben sind. Entstand der Gletscher aus der Vereinigung mehrerer Eisströme, so finden sich Blöcke, die aus einem linksseitigen Thale kommen, am linken Rande und umgekehrt. — Reste von Schuttkegeln der Wildbäche werden zuweilen mit Endmoränen verwechselt. Man sollte daher in der Einzeichnung der letzteren vorsichtig sein.

Wo immer Gletscherschutt angehäuft ist, sind die grösseren Gesteinsstücke von petrographischem Gesichtspunkte zu untersuchen. Da sie stets aus anderen Gegenden herstammen, werden sie leicht als Fremdlinge (erratische Blöcke oder Wanderblöcke) erkannt. In den meisten Fällen ist es schwer, ihren Ursprungsort festzusetzen. Zuweilen findet man einzelne Stücke, welche nachweisbar von einem in der Nähe gelegenen Orte stammen. Sie sind von Interesse, indem sie die Richtung der Bewegung des Gletschers anzeigen.

Polierte und geschrammte Felswände können ein sehr sicheres Merkmal der ehemaligen Anwesenheit von Gletschern sein. Sie sind oft glatt wie Spiegel und mit grosser Schärfe von den eingeritzten Schrammen durchzogen. Es wird jedoch in Wüstengegenden eine ähnliche Wirkung durch die äolische Sandtrift (§ 194) verursacht. — In noch höherm Grade als die Wände eines Gletscherthales ist der felsige Boden geschrammt. Dies ist selbst dort der Fall, wo das Eis über weit ausgedehnte Felsflächen geschoben worden ist. Man sollte die Richtung der Furchen mit dem Kompasse bestimmen und dies häufig wiederholen, um die vorherrschende Richtung sicherzustellen. Denn nicht selten kreuzen sich Schrammen von verschiedenen Richtungen, die wahrscheinlich von der Ablenkung der Bewegung am Grunde oder an den Seiten des sich stetig in gleichem Sinne fortschiebenden Gletschers infolge eines Hindernisses herrühren und nicht, wie es geschehen ist, auf zwei abweichende Bewegungen der ganzen Gletschermasse in weit voneinander entfernten Perioden zurückzuführen sind.

Man hat in verschiedenen, zum Teile sehr alten Formationen (selbst der cambrischen) als unterstes Glied grobe Konglomerate gefunden, in denen zuweilen Blöcke von bedeutender Dimension und einem am Orte selbst nicht anstehenden Gesteine eingestreut liegen, und dieselben durch Gletscherwirkung zu erklären gesucht. Dies wurde um so eher angenommen, als in einem Falle die feste Gesteinsunterlage geschrammt war. Wir werden sehen (§ 165), dass man in solchen Fällen die Prüfung auf Abrasionserscheinungen anzustellen hat.

c. Landschaftliche Formen vergletschert gewesener Gebiete.

§ 106. Wo die angegebenen Einzelkennzeichen früherer Vergletscherung vorhanden sind, erhält die Landschaft im grossen und ganzen ein besonderes Gepräge. Vergleicht man sie mit

Gegenden von ähnlichem Baue, in denen eine Vergletscherung nicht stattgefunden hat, so gelangt man zu der Erkenntnis, dass die Formen eine Folge der mechanischen Umgestaltung durch das Gletschereis sind, indem sie im grossen denen entsprechen, welche das letztere im kleinen hervorbringt. Diese Formen sind verschieden in den Gebirgen und ausserhalb derselben.

Gebirgsthäler, in deren Boden Gletscher ihren Lauf genommen haben, besitzen im allgemeinen eine im Querschnitt trogförmige Gestalt, indem die Seitenwände in den mittleren Höhen steil einfallen, sich nach unten gegeneinander krümmen und in einem flachen Boden vereinigen. Und zwar sind solche Thäler, wenn sie in hartem Gesteine eingesenkt sind, Felströge, deren Wände und Boden zum Teile glatt geschliffen sind. Ist Streifung vorhanden, so ist sie in der Regel thalabwärts gerichtet. Der Boden ist in Weitungen häufig mit Rundhöckern besetzt. Meist fehlt tiefgreifende Zersetzung; Gebirgsschutt und neuere Bodenbildungen ruhen auf der glatten Felsunterlage. Wo ein solcher Trog von einem erodierenden Flusse durchströmt wird, hat dieser in dem flachen Boden eine Furche von der gewöhnlichen Gestalt eines V eingeschnitten und erhält von den Wänden des Troges Zuflüsse, welche in Rinnen von derselben Form herabkommen. Vergleicht man den Verlauf und die Gestalt der ehemaligen Gletscherthäler mit solchen, welche durch fliessendes Wasser allein geschaffen wurden, so erkennt man, dass die Eisströme präexistierenden Thälern gefolgt sind, und es drängt sich die Ueberzeugung auf, dass sie dieselben seitlich erweitert und ihren Boden abgeflacht haben.

Es giebt ausgedehnte Regionen von hügeliger, welliger oder ebenmässiger Oberfläche, in denen das feste Gestein unmittelbar ansteht. Waren sie von Gletschereis bedeckt, so erscheinen sie in weitem Umfange wie abgeschliffen. Charakteristisch ist die Abwesenheit tiefen Zersetzungsbodens. Die Gesteinsfläche kann streckenweise mit fremdartigem lockern Materiale bedeckt sein und dort Wälder tragen; aber das gewachsene Gestein steht mit glatter, chemisch meist wenig angegriffener Fläche darunter an. Dies ist das Merkmal für viele Landschaften in Finnland und Skandinavien, an der Westküste von Grönland, in Labrador und grossen Teilen des arktischen und gemässigten Amerikas, bis hinab in die Breiten, wo die Spuren ehemaliger Vergletscherung überhaupt ihr Ende erreichen. Dies sind die Flachboden der glacialen Denudation.

Die Bodenformen in solchen Ländern bedürfen noch eines genauern Studiums. Häufig sind Rundhöcker auszeichnend für sie. Da die Stossseite dieser Formgebilde sich durch eine schief ansteigende, geglättete Wölbungsfläche auszeichnet, die abgewandte Seite aber die Merkmale der Gesteinszerbröcklung zeigt, so lässt sich an ihnen die Richtung der Eisbewegung erkennen. Die eingerissenen Schrammen vervollständigen die Beobachtung. Ist das Gestein von Schutt bedeckt, so helfen Abräumungsarbeiten, besonders in Steinbrüchen, die Oberfläche zu untersuchen und die Schrammen, wo sie existieren, zu finden. In hohen Breiten (z. B. im nördlichen Urale, wo der sichere Nachweis der Vergletscherung vorher nicht gelungen war) ist es zuweilen hinreichend gewesen, das Moospolster von dem Gesteine zu entfernen, um die Glacialfurchung zu entdecken.

Eine andere Art von Landschaften, die den Gletschern ihr Dasein verdanken, sind die Gebiete des Glacialschuttes. Vor allem liefert die Grundmoräne die Bestandteile dazu, in geringerm Masse beteiligen sich die Erdmoränen. Im Gegensatze zu den bisher betrachteten Gegenden der Denudation sind dies die Gebiete glacialer Ablagerung. Sie decken sich aber häufig mit den ersteren, indem Glacialschutt weithin das denudierte Gestein ganz oder teilweise verhüllt. Man erkennt diesen von Gletschern transportierten Schutt an den schon genannten Eigenschaften der Lagerung und an der Fremdartigkeit der Gesteine. Seine Ablagerungen greifen oft weit über die Regionen hinaus, wo festes Gestein ansteht, und breiten sich über Schwemmland oder Zersetzungsboden aus. Sie schaffen dann eine neue und eigentümliche landschaftliche Oberfläche über der alten. Dieselbe ist regellos in ihren Formen, aber zuweilen von der Erdmoräne in regelmässigen Kurven gegen die moränenfreie Gegend abgegrenzt. Der thonige, das Wasser schwer durchlassende Boden befördert die Waldbedeckung und die Bildung von Seen, Mooren und Sümpfen.

Als ein charakteristisches Merkmal der Glacialgebiete sind die Glacialschotter erkannt worden, welche sich dort ausbreiten, wo fliessendes Wasser in der Glacialzeit selbst die Bestandteile der Grundmoräne hinwegführen und ablagern konnte. In Gebirgsthälern können sie mehrere hundert Fuss Mächtigkeit erreichen, ausserhalb des Gebirges durch weite Verbreitung infolge häufiger Aenderungen der Wasserläufe ausgedehnten Gebieten ihren Charakter geben.

Bei Beobachtungen über diese Gegenstände muss man, um das Einzelne erklären und dem Ganzen richtig einreihen zu können, die Aufeinanderfolge der Ereignisse bei dem Beginne und weitern Verlaufe der Eiszeit, soweit sie sich aus den zu Grunde liegenden klimatischen Vorgängen von selbst ergeben, klar im Auge behalten. Die Gletscherbildung nahm überall ihren Ausgang in den Gebirgen. Vorher hatten an denselben Stellen Gletscher nicht oder nur in geringem Umfange bestanden. Die Gebirge waren in Verwitterungsboden und Bergschutt gehüllt, die Thalböden mit den Erosionsprodukten der Flüsse bedeckt. Die allmählich an Mächtigkeit und an Länge wachsenden Gletscher fanden daher eine so grosse Masse von losem und leicht fortzuschaffendem Materiale vor, dass man dasselbe in jedem einzelnen Falle als der Abtragung des gesamten Gebirges um mindestens mehrere Meter äquivalent erachten darf. Ausserdem aber gewährte das Klima, welches zur Entstehung grosser Gletscher Veranlassung gab, in den Gebirgen die Bedingungen zu intensiver Wirkung des Spaltenfrostes und somit zur weitern Vermehrung des Schuttes, während es sich andererseits in weit allgemeinerer Weise durch Vermehrung der Niederschläge manifestierte. Es wirkten daher eine Anzahl Faktoren für erhöhte Geröllführung der Gebirgsflüsse zusammen. Mächtige Aufschüttungen in den Flussthälern, sowohl innerhalb wie ausserhalb ihres Gebirgslaufes, konnten dem vordringenden Gletscher vorangehen, indem nicht nur die Abspülung der Gehänge und die Thätigkeit der fliessenden Gewässer gesteigert waren, sondern auch insbesondere die ungeheuren Massen des am Boden des Eises befindlichen, zur Grundmoräne sich umgestaltenden lockern Materials durch die Gletscherbäche zum Teile thalabwärts geführt wurden. Der Gletscher musste dann später selbst über die Geröllmassen seinen Lauf nehmen und konnte sie entweder mit Grundmoräne bedecken oder sich selbst in sie einschneiden. Der Rückzug des Eises war offenbar die Folge eines noch während des Vordringens eingetretenen trockenern Klimas. Das Abschmelzen aber musste eine Vermehrung der Wassermasse der Ströme während der sommerlichen Jahreszeit zur Folge haben, sodass nun ein tiefes Einschneiden der Gewässer in die Ablagerungen von Schotter und Schutt aller Art stattfinden konnte. Es bildeten sich dadurch seitliche Schotterterrassen in den Flussthälern (§ 93) bis in weite Entfernung von den Gletscherenden hin.

Dies sind naturgemäss die Hauptphasen des Vorganges. Wenn man sich dieselben vergegenwärtigt, wird man die Modifikationen im Einzelfalle leichter verfolgen können. Von besonderm Interesse, wenn auch nur von geübten Kräften anzustellen, sind Beobachtungen über wiederholtes Vorrücken der Gletscher. In diesen Beziehungen können die scharfsinnigen Argumente, welche Penck (Die Vergletscherung der deutschen Alpen, Leipzig 1882) teils aus den Mitteilungen anderer Beobachter zusammengestellt, teils auf sorgfältige eigene Untersuchungen über die Wechselverhältnisse von Grundmoräne, Erdmoräne und verschiedenaltrigen Glacialschottern gegründet hat, als Anhalt dienen. Funde organischer Reste in Zwischenschichten der Glacialschotter sind dabei von Wichtigkeit, weil sie über die klimatischen Verhältnisse der Interglacialzeiten Aufschluss geben können. Auf die Beobachtung derjenigen Fälle, wo Moränenschutt und Schwemmland durch ihre Wechsellagerung einen Wechsel klimatischer Zustände und der damit verbundenen Vergletscherungsverhältnisse andeuten, wie im norddeutschen Flachlande, ist bereits hingewiesen worden.

Zu den hervortretendsten Eigentümlichkeiten aller Regionen, welche ehemals mit Gletschereis bedeckt gewesen sind, gehört der Reichtum an Seebecken, sowohl solcher, welche noch heute mit Wasser gefüllt sind, als solcher, in denen das letztere durch Ablagerungen verdrängt worden ist. Sie zeichnen ebenso die Denudationsthäler in Gebirgen wie die grossen felsigen Denudationsflachboden (Finnland) aus, ebenso die Anhäufungen von Moränenschutt, wie die Ablagerungen von Glacialschotter. Man findet sie von hohen Gebirgspässen herab bis in die Niederungen. Grosse Becken sind besonders auszeichnend für die unteren Gebirgsthäler und die dem Gebirgsfusse sich zunächst anschliessende Flachlandzone. Je mehr die Untersuchung fortschreitet, desto mehr zeigt es sich, wie unzureichend die Annahme einer gleichartigen Entstehungsursache ist, wie vielmehr durch die in und nach der Glacialzeit thätigen Agentien verschiedenartige Bedingungen geschaffen wurden, welche zur Seebildung und zur Konservierung von Seebecken Anlass zu geben vermochten. Es wird daher in wachsendem Masse erforderlich, jeden See einzeln für sich einer genauen Erforschung zu unterwerfen. Das Becken sollte in seiner Gestalt, die Umrandung auch noch in ihrer Zusammensetzung untersucht werden. Bei Seen, die in festes Gestein eingesenkt sind, ist insbesondere

festzustellen, ob auch der Ausfluss in festem Gesteine oder in aufgeschüttetem Materiale liegt. Auf diesen Gegenstand, ebenso wie auf die ebenfalls mit dem Glacialphänomen örtlich eng zusammenhängende Fjordbildung, soll in späteren Abschnitten (§§ 112, 113, 115 ff., 139) ausführlicher eingegangen werden. Beides führt unmittelbar zu einem andern Gegenstande der Untersuchung. Dies ist:

5. Die mechanische Wirkung des Gletschereises in der Glacialzeit.

a. Methoden der Untersuchung.

§ 107. Es sind für die Erforschung der mechanischen Arbeit, welche das Gletschereis auszuführen vermag, drei Wege eingeschlagen worden. Der eine ist die Untersuchung der Vorgänge an thätigen Gletschern; der zweite die Beobachtung der Formveränderungen durch das Eis, welche sich an den von ihm verlassenen Lagerstätten nachweisen lassen; der dritte ist die Anwendung der theoretischen Mechanik. Jeder dieser drei Wege hat seine Berechtigung; aber wesentlichen Erfolg verspricht in höchstem Masse der zweite. Die jetzt vorhandenen Gletscher verbergen ihr Bett, und man kann sie gerade in derjenigen Thätigkeit, welche den Untergrund beeinflusst, nur unvollkommen belauschen. Zudem bieten sie andere Verhältnisse als diejenigen der Glacialzeit, welche die grossen Umgestaltungen hervorgebracht haben. Die Gletscher der Gebirge sind in schmale Betten eingezwängt, empfangen wesentlich Material von oben und sind auf die Richtung der Bewegung nach abwärts beschränkt. Diejenigen der Polargegenden sind zwar Ueberreste der ehemaligen allgemeinen Vergletscherung, um die es sich bei den grossen Problemen handelt, und besitzen noch deren Gestalt. Aber ein Teil ihrer Funktionen ist erschöpft, da das Material, welches hauptsächlich die Grundmoräne bildete, längst entfernt ist, und die letztere sich jetzt kümmerlich ergänzt. Die massenhafte alte Grundmoräne ist nach anderen Regionen geschafft. Sie könnte sich nur dann neu bilden, wenn die hochnordischen Länder abermals durch eine lange geologische Periode unter einem warmen Klima waldbedeckt der Zerstörung des Gesteins ausgesetzt und dann erst mit neuen Gletscherbildungen überzogen würden. Die mathematische Berechnung ist geneigt, zu wenig Rücksicht auf die durch Beobachtung festgestellten Thatsachen

zu nehmen und an ihrer Statt von Prämissen auszugehen, um die es sich nicht handelt. Daher gelangt sie zuweilen auf mühsamen Wegen zu Resultaten, welche für die Erklärung des wirklichen Sachverhaltes ohne Bedeutung sind. Anstatt von schutterfülltem Gletschereise als dem mechanischen Werkzeuge auszugehen, hat man die physikalischen Eigenschaften von reinem Seeeise den Berechnungen zu Grunde gelegt. Selbstverständlich kam man zu dem Resultate, dass dieses weder durch Druck eine erheblich zertrümmernde, noch durch Reibung bei der Fortbewegung eine bedeutende mechanisch zerstörende Wirkung ausüben könne, da es (auch ohne Rücksicht auf das Aufsteigen der Chthonisothermen) eher schmelzen würde. Doch handelt es sich bei dem Probleme nicht einmal um reines Gletschereis, geschweige denn um reines Seeeis. Gewiss kann die mathematische Physik bei einem so schwierigen Gegenstande helfend, ergänzend und klärend eintreten. Aber die Fragen, welche sie sich stellt, sollten auf der Beobachtung fussen. Es sollte in erster Linie durch diese festgestellt werden, welche Wirkungen durch Gletschereis mit Sicherheit ausgeübt worden sind; dann erst kann man fragen: unter welchen physikalischen Eigenschaften muss das Eis sich befunden haben; welche von der physikalischen Beschaffenheit des reinen Eises abweichenden Eigenschaften mussten ihm also zugeteilt gewesen sein, um es fähig zu machen, die beobachteten mechanischen Wirkungen auszuüben? Von dem dadurch gewonnenen Standpunkte aus wird die mathematische Physik gewiss erfolgreich zur Klärung in denjenigen Fällen eintreten können, wo die zu Grunde liegende Ursache sich der Beobachtung allein nicht entnehmen lässt.

b. Sichergestellte mechanische Leistungen der Gletscher.

§ 108. Die verschiedenen von den Gletschern der Vorzeit vollzogenen Arten der Arbeitsleistung, welche sich ebenfalls an den jetzt bestehenden in kleinerm Massstabe beobachten lassen, wurden im vorhergehenden genannt. Sie sind:

1. Ablation, d. h. die Ausräumung der Gebirgsthäler und die Abräumung grosser Flächen und bergiger Regionen durch Fortschaffung des von den Gletschern vorgefundenen ausserordentlich bedeutenden Bestandes an gelockertem Materiale:

2) Korrosion. Diese zeigt sich in der Glättung, Abrundung und Schrammung der Gesteinsblöcke, welche nur durch heftige gegenseitige Reibung erklärt werden kann; in der Zertrümmerung eines Teiles derselben zu einem aus scharfkantigen kleinen Fragmenten bestehenden Boden; in der Abschleifung und Schrammung der Seitenwände und des unterlagernden Gesteins, welche sich bis zur Aushöhlung eines breiten Troges steigert; endlich in der noch jetzt bei jedem Gletscher ununterbrochen vor sich gehenden Produktion grosser Massen von feinem, aus zerriebenem Gesteine bestehenden Mehle;

3) Transport und Ablagerung. Das Forttragen der Oberflächenmoräne ist unmittelbar sichtbar, ebenso die Entfernung des Schleifpulvers vom Boden durch den Gletscherbach. Mittelbar erweist sich ein viel bedeutenderer, in der Vorzeit geschehener Transport durch den räumlichen Abstand, in welchem sich die Gesteine der Grundmoräne von dem Ursprungsorte jedes einzelnen Stückes befinden. Derselbe erreicht in Europa einen Betrag, welcher 1000 km häufig übersteigt. Dieser Transport hat zum grossen Teile in einer der Neigung entgegengesetzten Richtung, also bergauf, stattgefunden, wie im einzelnen für kleine Entfernungen, im grossen für die Gesamtabdachung des norddeutschen Flachlandes bis hinauf zu den Gebirgsrändern nachgewiesen worden ist. Geschah die Bewegung eines Gletschers vermöge seiner die Passhöhen übersteigenden Mächtigkeit quer über einen Gebirgszug hinweg, so ist auch ein, wenngleich nicht bedeutender Teil der Grundmoräne über ihn hinwegbewegt worden. Dies war z. B. der Fall bei den Eisströmen, welche durch die grossen Querthäler der Centralketten der deutschen Alpen das Innthal erreichten, dieses ausfüllten und über die Einschartungen der nördlich vorliegenden Parallelketten hinweg in das bayrische Vorland hinabstiegen.

Dies sind die Arten der nachweisbaren Arbeit. Ihr Betrag ist nicht nur in überseeischen Ländern, sondern auch in vielen Teilen Europas noch festzustellen. Zu diesem Zwecke hat man die Gesamtmasse des vorhandenen Moränenschuttes, dessen Ursprung sich auf ein bestimmtes Gebirge, z. B. das skandinavische, zurückführen liess, zu berechnen gesucht und, indem man aus dem Volumen die Höhe der Schicht fand, um welche

dasselbe das betreffende Gebirge, bei ebenmässiger Ausbreitung über dessen ganzes Areal, erhöhen würde, die Folgerung gezogen, dass die mechanische Arbeit der von demselben Gebirge ausgegangenen Gletscher der Ablösung einer Schicht festen Gesteines von derselben Dicke äquivalent sei. Es sind jedoch dadurch einerseits viel zu hohe Beträge erreicht worden, da den von den Gletschern vorgefundenen Massen lockern Schuttes, welche weitaus die Hauptmasse der Grundmoräne ausmachen dürften, nur selten Rechnung getragen worden ist; andererseits sind die Zahlen zu niedrig, weil der ausserhalb des Moränengebietes durch Wasser abgelagerte Glacialschotter, ebenso wie die in das Meer geführten Massen, sich der Berücksichtigung entzogen.

Ausser den angeführten Arten der Arbeitsleistung ist die Gletscherbedeckung grosser Landstriche offenbar an der Bildung der zahllosen von ihr zurückgelassenen Seebecken beteiligt gewesen. Doch ist es Gegenstand der Kontroverse, inwieweit dieselben durch die Gletscher unmittelbar ausgehöhlt, oder mittelbar durch deren anderweitige Arbeit, oder auch nur durch die Thatsache ihrer Existenz, gebildet oder als Aushöhlungen konserviert worden sind. Dasselbe gilt für die Fjorde.

c. Unterschiede der Arbeit der Gletscher von der des fliessenden Wassers.

§ 109. Vergleicht man mit den mechanischen Effekten der Gletscherbewegung die Arbeit des fliessenden Wassers, so besteht diese zwar auch in Erosion, Korrosion, Transport und Ablagerung. Aber die Erosion durch Wasser geschieht in der Form von Furchen, und nicht in der von breiten trogförmigen Rinnen; niemals vermag sie weite Regionen ebenmässig zu entblössen. Die Korrosion ist auf das Wasserbett beschränkt; ein Abschleifen weiter, aus festem Fels bestehender Flachländer kann nicht stattfinden, ebensowenig die Bildung der Rundhöcker und die scharf eingegrabene Schrammung des Gesteins. Der Transport von grobem Materiale kann nur nach abwärts geschehen; die Fortschaffung in einer der Neigung entgegengesetzten Richtung ist nur im allerkleinsten Massstabe möglich. Das Wasser verliert die Transportkraft mit der Verringerung des Gefälles, der Gletscher behält sie auf seinem Rücken und in seinem Innern bei, solange das Eis strömt; inwieweit sie dann noch am Boden stattfinden kann, hängt von verschiedenen Umständen

ab. Die Ablagerung im Wasser geschieht stets in der Form geschichteter Massen; ungeordnete Haufwerke von grobem und feinem Materiale können niemals durch sie erklärt werden. Das Eis wirkt daher zum Teile in einer dem Wasser analogen, zum Teile in einer davon verschiedenen Weise. Die Ursache liegt einerseits in der Art der Bewegung des Gletschereises, andererseits in dessen Beschaffenheit.

d. Bewegung der Gletscher über grosse Gebiete.

§ 110. Die Bewegungsfähigkeit des Gletschereises, soweit sich ihre Ursachen bis jetzt ergründen lassen, beruht, wenn wir die vorhergehenden Ausführungen kurz zusammenfassen, in der hochgradigen Plastizität desselben, welche wahrscheinlich in ursächlicher Beziehung zu der Zerteilung in Gletscherkörner steht und teils direkt durch hohen Druck, teils indirekt durch die damit verbundene, vermutlich zunächst an den Haarspalten sich vollziehende Schmelzung und Regulation erhöht wird. Die Bewegung dieser plastischen Masse wird hervorgebracht: 1) durch Gravitation, und zwar überall, wo sie von höherm nach tieferm Niveau stattfindet, daher besonders bei Gebirgsgletschern; dass der Druck durch rückwärtige Massen dabei eine Rolle spielt, ist dort ersichtlich, wo steileres Gefälle in sehr flaches übergeht; 2) durch Druck von oben, welcher bei mächtig gelagertem Inlandeise zur Geltung zu kommen scheint, indem er ein Herauspressen der tiefsten, am meisten mit Plastizität begabten Teile bewirkt. Eine subsidiäre Rolle scheint mindestens in vielen Fällen 3) der Kristallisationskraft zuzukommen, welche sich äusserlich in dem steten Anwachsen des Gletscherkornes zu erkennen giebt. Die Richtung der Bewegung ist diejenige des geringsten Widerstandes; daher geschieht dieselbe zunächst nach abwärts, solange dies möglich ist; aus der gleichen Ursache breitet sich der Gletscher fächerförmig mit allmählicher Abflachung aus, wenn er aus dem Gebirge heraus in freies ebenes Land tritt. Hindern sich aber mehrere nebeneinander heraustretende Gletscher gegenseitig an der fächerförmigen Ausbreitung, so setzt die longitudinale Bewegung eines jeden fort. Die Begrenzungsflächen gegen die Nachbargletscher müssen sich wie elastische, die Kraft des stärkern Gletschers etwas nachgebende Thalwände verhalten. Dies ist aus der Art der Verbreitung der Grundmoränen geschlossen worden. Steigt der Boden jenseits des Gebirgs-

fusses in einer flachen Welle an, die rechtwinklig zur Bewegungsrichtung der aus verschiedenen Nachbarthälern eines Gebirges hervorquellenden Gletscher streicht, so kann dieselbe, wie die Beobachtung an der Grundmoräne lehrt, überstiegen werden. Vorher wird jedoch eine Verdickung des Eises in der zwischen dem Gebirgsfusse und der Welle gelegenen Mulde eintreten müssen und zwar wahrscheinlich so weit, bis die Oberfläche des Gletschers die Welle übersteigt. Ist statt der Welle ein allmählich ansteigender Grund vorhanden, so wird ein Fortschieben des Gletschers auf ihm stattfinden müssen, falls die Bewegung derjenigen eines durch Druck herausgepressten Eisstromes entspricht, und falls seitliche Einzwängung durch Terrainformen oder durch benachbarte Gletscher die Richtung nach aufwärts zu derjenigen des geringsten Widerstandes macht: aber gleichzeitig wird auch in diesem Falle ein stetiges Anwachsen der Dicke der gesamten Eismasse am Gebirgsfusse stattfinden und dadurch auch rückwärts nach dem Gebirge hinein, über dessen tiefere Teile sich schliesslich eine kontinuierliche Decke von Inlandeis mit allmählich sich abdachender Oberfläche ausbreiten wird. Der Maximalabdruck in der ganzen Länge eines Gletschers wird in diesem Falle entlang dem Fusse des Gebirges stattfinden. Nicht wesentlich verschieden wird das Verhältnis sein, wenn anstatt der ansteigenden Fläche eine Horizontalebene oder selbst eine sanft abfallende Fläche vorhanden ist. Denn je weiter die Eiskante sämtlicher Gletscher sich von dem Gebirge entfernt, desto grösserer Druck von rückwärts wird (neben der problematischen Kraft der Kristallisation, welche nirgends fehlen würde) erforderlich sein, um das Eis vorwärts zu schieben. Auch dann wird die Region, in welcher die dem Ursprungsgebiete der Gletscher (also den Gebirgen und speziell den Gebirgsthälern) eigentümliche stärkere Neigung des Bodens in die erheblich geringere der vorliegenden Ebene übergeht, die Region der grössten Eisanhäufung und daher der grössten Druckwirkung sein müssen.

Diese Verhältnisse lassen sich nur theoretisch erörtern und in einzelnen Stücken durch die Beobachtung an verlassenen Gletscherbetten erhärten. Es wäre daher für die Befestigung der Erklärung wichtig, die Bewegungserscheinungen der Gletscher in den Polargebieten nach den angegebenen Richtungen hin genau zu untersuchen. Der unmittelbarste Hinweis darauf, dass das Eis sich über den Vertiefungen und an den Stellen

des Ueberganges steiler in flachere Neigung am mächtigsten anhäuft, ist in dem ebenmässigen Neigungswinkel der Oberfläche des grönländischen Inlandeises und in dem Aufragen gebirgiger Unebenheiten aus derselben gegeben.

e. Abräumungsarbeit.

§ 111. Die erste Arbeit des entstehenden, sich allmählich fortbildenden und während der ganzen Zeit seiner Existenz in steter Bewegung verbleibenden Gletschers bestand, wie bemerkt, in dem Hinwegräumen alles gelockerten Materials, welches er vorfand, insofern er es zunächst nach abwärts tragen konnte. Dieser allenthalben nachweisbare Vorgang ist sicherlich in jedem einzelnen Falle sehr langsam gewesen. Zwar müssen die vom Wasser durchtränkten Schuttmassen in den meisten Fällen fest zusammengefroren gewesen sein, ehe der Gletscher sie erreichte. Aber wahrscheinlich vermochte er jederzeit nur die seiner Sohle zunächst gelegenen Teile fortzuschieben oder in sich aufzunehmen. Bei grossen Blöcken mochte vielfach die plastische Eismasse, deren einzelne Teile den Unebenheiten ausweichen und sich um sie herum bewegen konnten, nur ein langsames und allmähliches Fortschieben und Fortwälzen bewirken: aber kein loser Block dürfte gross genug gewesen sein, um nicht von dem einhüllenden Eise, wenn es hinreichende Mächtigkeit besass, erfasst und geschoben zu werden. Der mechanische Vorgang der Bewegung des Bodenschuttes ist als ein fortdauerndes Ausglätten, Fortschieben und Forttragen unter sehr hohem Drucke zu betrachten, wobei die Verschiebbarkeit der Bestandteile der ganzen Schuttmasse durch die Schmelzwasser des Bodens erhöht war. Nach dem Anfange der Vergletscherung musste zunächst der Schutt aus den höheren Regionen allmählich entfernt werden, dann aber, mit dem Wachsen des Gletschers, die Ausräumung nach immer tieferen Teilen fortschreiten. Erst wo der Mangel an Widerständen das Auseinanderfliessen der plastischen Masse auf flachem Boden gestattete, konnte die fortschiebende Kraft erlöschen und bleibende Ablagerung eintreten. Die jetzigen Polargletscher der arktischen Zone stellen wahrscheinlich nur die Analoga der Ursprungsgebiete der ehemaligen grossen Vergletscherung dar. Daher sind dort die Schuttmassen längst entfernt, und es scheint, dass sich der die Bewegung des Bodenschuttes betreffende Teil des Vorganges dort kaum noch gut beobachten

lässt. Bei Gebirgsgletschern hingegen ist die fortdauernde Neubildung der Grundmoräne bedeutend genug, dass sich bei ihnen vielleicht das Mass des Vorschiebens der letztern unter zwar verhältnismässig geringem Drucke, aber bei beträchtlicher Neigung näher feststellen lassen wird.

Neben dem Ausräumen des lockern Schuttes muss die Stosskraft des unter hohem Drucke fortbewegten Gletschers, so sehr sie durch die Plastizität des Eises abgeschwächt wird, die Tendenz haben, schroffe Unebenheiten des Gletscherbettes hinwegzuschaffen, und sie wird dieses Ziel bei weichen und zerklüfteten Gesteinen in hohem Grade erreichen. War hingegen, wie bei den Rundhöckern, einmal örtlich eine schief ansteigende Fläche auf einer begrenzten Masse von hartem Gesteine gebildet, so musste die Tendenz zu ihrer Erhaltung obwalten; denn es lässt sich voraussetzen, dass der gröbere Schutt nach den tieferen Teilen der Bodenfläche abgelenkt wurde und das schärfere Herauspräparieren des Höckers veranlasste, während dessen Oberfläche nur durch feinkörnigen Schutt zu wachsender Glätte poliert wurde.

Bildung von Seebecken durch glaciale Ausräumung. — Das Mass der Abräumung eines schuttbedeckten Landes muss örtlichen Schwankungen unterliegen. Diese werden teils durch Unterschiede der Mächtigkeit des Schuttes, teils durch das verschiedene Mass des Horizontalschubes hervorgebracht werden. Es wird aber auch von dem Drucke beeinflusst werden, unter welchem das Eis arbeitet; der Vorgang wird daher an Stellen gesteigerten Druckes schneller nach der Tiefe vorschreiten als an anderen. Da nun das Eis nicht nur durch Vertiefungen sich fortzubewegen, sondern auch festes Material mit seiner eigenen Masse aufwärts zu transportieren vermag, so kann es theoretisch nicht zweifelhaft sein, dass durch glaciale Ausräumung Becken in lockerm Schutte ausgehöhlt werden können, und dies kann thatsächlich als durch neuere Untersuchungen bewiesen angenommen werden. Wie oben (§ 106) bemerkt wurde, sind dem Vorrücken der Gletscher bedeutende Ablagerungen von Geröll, insbesondere in den Randzonen der dem Gebirgsfusse vorgelagerten Flachländer, vorangegangen. Da aber gerade hier die Stellen höchsten Gletscherdruckes gewesen sein müssen, so sollten die Aussenränder vergletschert gewesener Gebirge vorzugsweise mit Seebecken besetzt sein, vorausgesetzt, dass die Eisdecke sich weit jenseits dieser Ränder ausbreitete. Dies

ist am nördlichen und südlichen Fusse der Alpen der Fall, und mehrere der dortigen Seebecken, mit Einschluss der bereits durch Sedimente ausgefüllten, sind in der That in lockerm Schutte eingesenkt. Eine ähnliche Lage hat man bei der Ostsee im Verhältnisse zum skandinavischen Gebirge erblicken wollen. Es ist indessen zu bemerken, dass die Bedingungen zur Ausräumung bei einem gewissen Verhältnisse des Druckes zu dem Neigungswinkel des ansteigenden Grundes eine Grenze erreichen müssen. Diese wird in dem extremen Falle einer kreisförmigen, mit senkrechten Wänden niedergehenden Versenkung in geringer Tiefe eintreten. Es ist ein schwieriges, aber der Untersuchung würdiges Problem, die Grenzwerte, bei denen der Vorgang noch möglich ist, zu finden. Als erwiesen kann die glaciale Ausräumung nur für gewisse Becken gelten, welche im Verhältnisse zu dem durch die Gletscherbewegung bezeichneten Längsdurchmesser eine geringe Tiefe besitzen.

Ein viel gewaltigeres Motiv der Seebildung durch Ausräumung allein war in der Unebenheit der Oberfläche des festen Gesteins unter der durch die Tiefenzersetzung (§ 48) mürbe gewordenen Decke lockerer Massen gegeben. Wurden diese als Grundmoräne nach weitentlegenen Gegenden getragen, so mussten alle Vertiefungen als Becken zurückbleiben. Ein warmes, feuchtes Klima hatte in den arktischen Regionen durch lange geologische Perioden geherrscht, als die Vergletscherung eintrat. Unter der üppigen Waldvegetation muss die Zersetzung sehr bedeutend gewesen sein. Es ist oben bemerkt worden, dass die zahllosen Seebecken der kälteren Teile von Nordamerika, sowie diejenigen von Finnland und Lappland dadurch vorgebildet worden sein dürften, wenn auch ihre weitere Ausgestaltung erst durch die Korrosion geschah.

f. Korrosionsarbeit.

§ 112. Der andere deutlich nachweisbare Effekt der Gletscherbewegung ist die Korrosion. Es ist selbstverständlich, dass das Eis als solches sie nur an weichem Materiale, nicht aber (oder doch nur in sehr geringem Masse) an hartem Gesteine, wie Granit oder Gneis, auszuüben vermag. Das Eis wird aber zu einem gänzlich verschiedenen Körper, sobald es Gesteinsstücke und pulverig zermalmtes Gestein an seinem Boden eingekittet enthält und in diesem Zustande unter sehr hoher Belastung, bei mangelnder Gelegenheit zu seitlichem Aus-

einandergehen, fortgeschoben wird. Wie Wachs mit eingekitteten Sandkörnern oder Schmirgel an einem wollenen Lappen zum Schleifen von Marmor und härterm Gesteine verwendet werden können, so dienen, wie Daubrée (Experimentalgeologie S. 219, 220) durch Versuche nachgewiesen hat, jene festen Bestandteile dem Eise als Schleifpulver. Dies aber muss das Wesen des Eises am Boden jedes eingezwängten Gletschers sein und in viel höherm Grade während der Periode der Massenabräumung gewesen sein. Die Folge ist im ersten und war im zweiten Falle ein Schleifen und Aushöhlen in der ganzen Breite des Gletscherbodens. Insbesondere werden die kleinen Unebenheiten entfernt und stellenweise vollkommen glatte Flächen erzielt. Da sich in der Glacialzeit Gletscher über weite Regionen hin bewegten und sich gleichmässig über Bergrücken und Thäler hinwegschoben, so konnte dort regionales Abschleifen eintreten. Wie eine Pflugschar bewegte sich die Eislast über die nach Abräumung der lockeren Massen blossgelegte Felsfläche ausgedehnter Erdräume. Feilend und schleifend glättete sie die erhabenen wie die vertieften Teile der Granit- und Gneisgebiete.

Bildung von Seebecken durch glaciale Korrosion. — Auch die Korrosion kann örtlich an Intensität wechseln. In weichem Gesteine muss sie stärker sein als in hartem. Starkes Gefälle wird, wie bei strömendem Wasser, das Schleifen am Boden, geringeres die seitliche Korrosion begünstigen. Ausserdem aber muss bei der Korrosion durch Eis die Menge und Härte der festen Bestandteile von wesentlichem Einflusse sein. Die Korrosion sollte daher verstärkt sein, wo mehrere Gletscher sich in einem Bette vereinigen, dessen Breite geringer ist als die Summe der Querdurchmesser der Zuflüsse. Besonders sollte ihre Intensität vor solchen Stellen zunehmen, wo ein steileres Gefälle in ein flacheres übergeht. In analogen Fällen höhlt das Wasser durch Korrosion Becken aus (§ 69); doch findet die Tiefe derselben bald eine Grenze, da die Becken sich mit Sedimenten füllen. Das Eis wird dieselbe Wirkung ausüben; aber es schafft die Korrosionsprodukte fort. Wenn schon infolge dieses Vorganges Gletscher im stande sein müssen, durch Korrosion Becken in festem Gesteine auszuhöhlen, so kommt bei ihnen als wichtiges Moment noch der Unterschied des Druckes in Betracht. Wie erwähnt, hat die Oberfläche grosser Eismassen, wie in Grönland, die Tendenz,

die Gestalt einer allmählichen Abdachung anzunehmen. Sind nun in einem Gebirgsthale, welches bei *c* (Fig. 61) in die Ebene mündet, die Stufe des Sammelbeckens *aa* und noch eine zweite Thalstufe *bb* vorhanden, so sind hier Stellen relativer Druckverstärkung: eine dritte ist bei *c*. Findet in der ganzen Strecke

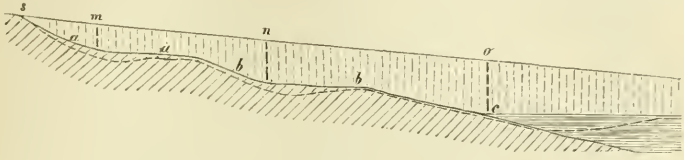

Fig. 61.

sc Korrosion des Felsbodens statt, und kommt der Gletscher bei *c* auf Schwemmland, und wird er ferner hier durch andere Gletscher eingeengt, so wird unter den Stellen *m* und *n* verstärkte Korrosion, unter *o* verstärkte Schuttausräumung stattfinden. Ist eine solche Differenz vorhanden, so müssen in den Strecken *aa* und *bb* Korrosionsbecken im Gesteine, bei *c* ein Ausräumungsbecken im Schwemmlande geschaffen werden.

Wenn nun auch die Möglichkeit der Bildung von Korrosionsbecken durch Gletscher einem begründeten Zweifel kaum unterliegen dürfte, so kann doch eine Kontroverse darüber entstehen, ob nur relativ flache oder auch relativ tiefe Felsbecken von Eis ausgefeilt werden können.

Die Ansichten hierüber gehen weit auseinander. Sie knüpfen sich im wesentlichen an die Gebirgsrandseen der Schweiz. Nach de Mortillet (1859) waren dieselben schutterfüllte Thalbecken und wurden durch Eis ausgeräumt. Ramsay (1862) nahm in allgemeiner Weise die Seetröge in festem Gesteine als durch Eis mittelst der Zerstörung des Gesteins ausgehöhlt an und sprach dieselbe Meinung betreffs der Fjorde aus. Nach Tyndall geschah die Aushöhlung durch Zermalmung des Gesteins infolge von Eisdruck; die staubförmigen Zermalmungsprodukte seien durch Wasser fortgeführt worden. Dieselbe Entstehungsweise nahm Tyndall für alle Alpenthäler an. Geikie, Nordenskiöld, Helland und Penck haben sich der Ansicht von Ramsay angeschlossen. Beiden Theorien entgegen sprachen Lyell (1863), Desor, Studer, Murchisor (1864), Omboni, Rütimeyer (1869) und Heim die Meinung aus, die Seebecken seien durch Eis konserviert worden. Während aber Lyell annahm, dass sie während der Eisbedeckung durch Gebirgsstauung gebildet worden seien, wären sie nach Rütimeyer und Heim durch denselben Einfluss bereits in präglacialer Zeit entstanden, indem die Gebirgsthäler dadurch in Becken verwandelt worden seien; diese seien mit Wasser und später

durch die Gletscher ausgefüllt worden und nach deren Abschmelzung abermals als Seebecken zurückgeblieben.

Die Anwendbarkeit der Ansicht von Rütimeyer und Heim auf einzelne grössere Seen erscheint unbestreitbar. Die Theorie von Mortillet beruht auf der glacialen Ausräumung und kann für einzelne Fälle, speziell durch die von Penck für die oberbayrischen Seen auf Grund sorgfältiger Beobachtung beigebrachten Argumente, als erwiesen gelten. Die Erklärung von Tyndall musste in ihrer Anwendung auf die Thäler von Geologen zurückgewiesen werden, während die Bildung von Seebecken durch Zermalmung des Gesteins von Physikern widerlegt wurde. Innerhalb welcher Grenzen die Theorie von Ramsay Anwendung finden darf, wird sich vielleicht auf dem Wege der Beobachtung allein schwer feststellen lassen, dürfte aber ein interessantes Problem für die mathematische Physik bilden. Denn so wenig es bezweifelt werden kann, dass die Gletscher der Vorzeit an solchen Stellen, wo das Vorschieben unter einem Maximum des Druckes über festen Felsboden geschah, in diesem ein Becken auszuschleifen vermochten, würde dieses doch von seinem hintern nach seinem vordern Ende nur einen flach konkaven Durchschnitt haben können. Wo Hinterwand oder Vorderwand eines in einem Thale gelegenen Beckens oder beide steil zu grosser Tiefe einfallen, erscheint derselbe Vorgang ausgeschlossen. Durch die Bewegung nach vorwärts allein kann ein relativ tiefer Kessel mittelst der Korrosion allein nicht ausgehöhlt werden. Es würde zu erörtern sein, welches das extremste, durch Korrosion bei geradliniger Bewegung des Gletschers zu erreichende Verhältnis der Tiefe eines Beckens zu seiner Länge, sowie welches die grösstmögliche Neigung der hintern und vordern Beckenwand sind. — Die Möglichkeit des Einfeilens sehr flacher und seichter Felsbecken durch Korrosion ist neuerdings auch von dem stets vorsichtig und auf Grund grosser Sachkenntnis argumentierenden Heim zugegeben worden.

Da die Korrosion (abgesehen von der gegenseitigen Reibung der Bestandteile der Grundmoräne) in dem Ausschleifen von Gestein besteht, so handelt es sich hier nicht um Seebecken im Schutte, sondern um solche, welche allseitig von gewachsenem Gesteine umgeben sind. Das Vorhandensein dieser Bedingung ist jedoch keineswegs hinreichend, um in den Fällen, wo die frühere Anwesenheit von Gletschereis nachweisbar ist, den Schluss auf Entstehung durch Korrosion zu rechtfertigen. Denn wenn ein Querthal durch eine in seiner Front sich vollziehende Schichtenfaltung abgesperrt wird, so bildet sich auch ein in Gestein eingesenktes Seebecken. Gleichviel, ob dasselbe teilweise oder ganz mit Schutt vollgeschwemmt war, ehe der Gletscher darüber hinauswuchs, jedenfalls konnte derselbe bis zu einer wesentlich in der Gestalt des Beckens beruhenden

Grenze den vorhandenen Schutt durch Erosion ausräumen. Es ist daher bei Abdämmung eines Seebeckens durch Schichtenfaltung oder Bruchspalten die Entstehung durch Korrosion auf ein geringes Mass von Wahrscheinlichkeit beschränkt. Wo hingegen eine ganz homogene, durch tektonische Vorgänge nicht gestörte Umrandung durch festes Gestein nachgewiesen werden kann, wird zunächst die Aufmerksamkeit darauf zu richten sein, ob lösliche Gesteine, wie Kalkstein, Gips oder Steinsalz, an dem Baue der Umrandung und der unterlagernden Schichtgesteine teilnehmen. Es kann dann, wie bei einigen Seebecken im Salzkammergute, die Entstehung durch Einbruch grosse Wahrscheinlichkeit haben. Ist auch dies ausgeschlossen, wie z. B. bei solchen Becken, die in Granit oder Gneis eingesenkt sind, so wird der Grad der Wahrscheinlichkeit zu Gunsten der Entstehung durch Korrosion allein zunehmen, insbesondere wenn sie in Gebirgsthälern gelegen sind. Doch ist der Schluss selbst dann mit Vorsicht anzuwenden; denn wie soeben angedeutet wurde, kann man es, z. B. in den kanadischen und finnischen Seeregionen, mit Ausräumungsbecken zu thun haben, deren Boden und Umrandung durch Korrosion glatt geschliffen wurden. Die letztere würde also nicht die primäre Veranlassung sein. Wahrscheinlich ist daher die Zahl der Seebecken, für welche die Korrosion als einzige Entstehungsursache angenommen werden darf, abgesehen von den sogleich zu erwähnenden Seen der Cirkusthäler, nicht gross. Als bemerkenswert können gewisse kleine, aber relativ tiefe Becken genannt werden, welche in Gebirgsthälern in kristallinische Schiefer eingesenkt sind und durch kreisrunde Form zuweilen wie ausgedrechselt erscheinen. Durch Korrosion bei longitudinaler Bewegung des Gletschers können diese Kessel nicht erklärt werden. Es wäre zu prüfen, inwieweit eine durch ein dem Gletscherstrome entgegenstehendes Hindernis verursachte rotierende Bewegung des Eises (§ 102) hierbei eine Rolle gespielt haben mag. Man wird auf die Vermutung einer derartigen mechanischen Wirkung besonders in den Fällen geführt, wo ein durch härtere Schichten oder einen granitischen Gang veranlasster Querriegel einen weitern vergletschert gewesenen Thalboden abschliesst und ein beiderseits polierter schmaler Durchlass durch den Riegel zeigt, wie der Gletscher sich hier zusammenziehen musste. Korrosion durch rotierende Bewegung könnte einen im Verhältnisse zum Durchmesser weit

tiefern Kessel erzeugen als die Korrosion bei geradlinigem Fortschreiten.

Bildungen eigentümlicher Art sind gewisse Kesselboden der Hochgebirge, welche in den Pyrenäen als Cirkusthäler, in Schweden als Botner, in den deutschen Alpen als Kare bezeichnet werden. Hinsichtlich ihrer Lage dicht unter den Wasserscheiden oder in den höheren Teilen der Gehänge entsprechen sie den Sammeltrichtern der Erosionsthäler, und wo sie vorkommen, üben sie die Funktionen derselben aus. Sie unterscheiden sich aber von den gewöhnlichen Sammeltrichtern derselben Gebirge dadurch, dass sie einen flachen, häufig mit einem oder mehreren Felsbecken besetzten Boden haben und von steileren Wänden in einigem Abstande umragt werden. Diese an die Calderas (S. 157) erinnernde Umwallung nimmt die Hälfte bis Dreiviertel eines Kreises ein, kann aber auch eine unregelmässige Gestalt haben. Der Karboden stürzt meist unvermittelt und oft in hoher und steiler Wand auf eine tiefere Stufe ab. Die dort vorhandene Erosionsfurche strebt sich rückwärts in den Karboden einzuschneiden und ihm die Gestalt eines gewöhnlichen Sammeltrichters zu geben. Die Kare oder Cirken kommen nur dort vor, wo die oberen Enden, d. h. die Firnfelder, von Gletschern gelagert haben, und sind daher auf einzelne, jetzt von Gletschern befreite Teile von Gebirgen (Tatra, Pyrenäen, einzelne Teile der Alpen u. s. w.) beschränkt. Da sie eine eigentümliche, sonst nicht wiederkehrende Gestalt haben, und die in ihnen befindlichen Seebecken meist gänzlich ausserhalb der Wirkungssphäre anderer beckenbildender Agentien liegen, so muss man ihre Entstehung in ursächliche Beziehung mit der mechanischen Thätigkeit der Gletscher setzen. Doch bietet die Erklärung des Phänomens Schwierigkeit, und es sind genaue Aufnahmen und Messungen zur vergleichenden Betrachtung möglichst vieler Cirken sehr erwünscht. Es ist dabei zuerst das rein geographische Moment zu berücksichtigen. Die in einer Gegend vorhandenen Zirken sollten in eine Karte eingetragen, die relativen Höhen ihrer Boden durch Isohypsen kenntlich gemacht werden. Es scheint, dass sie in jedem einzelnen Gebirgsteile unter eine gewisse, wahrscheinlich der frühern Firngrenze entsprechende Höhenlinie nicht herabgehen und sich in einer bestimmten Höhenzone in besonders grosser Zahl finden. Jedes einzelne Kar ist dann nach seiner Gestalt zu bestimmen. Einige

enden vorn breit und offen, bei anderen setzen die einfassenden Wände jenseits des Karbodens parallel fort, fallen aber nicht mehr steil auf einen flachen Boden, sondern allmählicher und mit zahlreichen Querjöchern gegen eine Thalfurche ab; wieder bei anderen kommen die Wände näher zusammen. Es ist ferner zu untersuchen, in welchem Grade die Erosionsfurche ihrer Tendenz, sich in den Karboden einzuschneiden, zu folgen vermocht hat. Endlich ist die Beschaffenheit dieses Bodens selbst und der Wände zu beobachten, die Gestalt der Seebecken, ihre Tiefe, ihre Lage, ihr Vorderrand: ob er aus Gestein oder Schutt besteht, dann der Grad nachträglicher Umgestaltung durch Schutthalden an den Wänden und durch Bodenbildung auf der Fläche. Manche Hochalpenwiesen sind in Karen gelegen.

Dankenswert ist jeder Beitrag zur Erklärung der Entstehung der Kare, da diese auf das Verständnis der mechanischen Vorgänge auf dem Boden der Firnfelder im allgemeinen Licht werfen würde. Vermutlich beruht die Cirkusbildung auf örtlicher Verschiedenheit in der Intensität und Richtung der Korrosion, infolge von Unterschieden des Druckes und der Bewegung. Wenn *a b c d e* (Fig. 62) das Vertikalprofil der Sohle eines

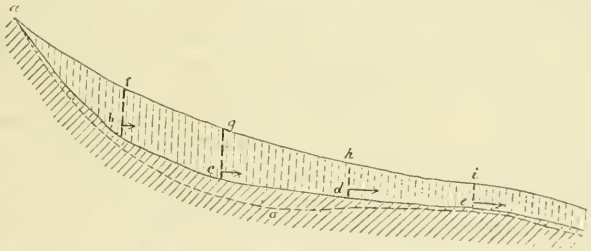

Fig. 62.

Sammelbeckens von Gewässern im Hochgebirge und *a f g h i* die Oberfläche einer später darauf gelagerten Firnmasse ist, so stellen *f b, g c, h d, i e* die Druckstärken in verschiedenen Teilen des Längsschnittes dar. Sie sind am grössten etwas hinter der Mitte und nehmen nach unten und oben ab. Infolge der Neigung verursacht die Gravitation einen durch den Druck der rückwärts und höher gelegenen Teile unterstützten Schub und Zug von dem obern gegen das untere Ende hin, mithin eine Bewegung der plastischen Masse gegen den Ausgang. In den in der Tiefe befindlichen Teilen ist zwar wegen der

geringern Neigung die durch die Gravitation veranlasste Zugkraft geringer, aber dort wird der vertikale Druck, soweit er nicht eine Arbeitsleistung in der Eismasse und am Boden ausübt, in seitlichen Druck umgesetzt und infolgedessen das Moment des horizontalen Schubes durch ihn verstärkt. An der Rückwand und ebenso an den Seitenwänden ist die horizontale Bewegung, deren Moment in den einzelnen Teilen durch die Pfeile dargestellt, noch gering. Dort findet noch vorwaltend eine Tendenz zu vertikaler gleitender Bewegung bei einem nach abwärts in der Richtung auf *b* und *c* zunehmenden Drucke, daher auch eine in derselben Richtung zunehmende Korrosion des Felsbodens statt. Sie strebt den Seitenwänden eine senkrechte Gestalt zu geben und die unter dem höchsten Drucke, d. h. am Boden, befindlichen Teile des Eises nach der Seite des freien Ausweges hin zu pressen und daher vermittelst der horizontalen gleitenden Bewegung den Boden flach abzuschleifen. Je mehr der Gegensatz steiler Wände und horizontalen Flachbodens erreicht wird, desto geringer wird in den Tiefen die Rolle des Zuges, welche für sich allein die oberen Teile des Eises in stärkere Bewegung als die unteren setzen würde; desto grösser wird das Moment derjenigen Bewegung, welche allein von den Druckkräften und der Plastizität des Eises resultiert und welche in geringer Entfernung vom Boden am grössten sein muss. Alle auf horizontale Verschiebung gerichteten Kräfte summieren sich aus allen rückwärts und seitlich gelegenen Massen in konvergierenden Linien; ihr höchstes Mass erreichen sie am Ausgange *e*, um dort das hervorgepresste Eis einem steiler geneigten Bette und damit wieder der vorwaltenden Kraft des Zuges zu überlassen; es wird zur Gletscherzunge. Die Korrosion des Bodens wird nicht mit der Horizontalbewegung wachsen, sondern muss ihr grösstes Ausmass theoretisch an der Stelle des höchsten Druckes erreichen. Dies ist zugleich die Stelle, an welcher die meisten durch die Druckverteilung veranlassten horizontalen Bewegungskomponenten konvergieren. Die wirklichen Bewegungen werden aber fortdauernd etwas nach dem Ausgange hin abgelenkt werden. Daher dürfte der Ort der grössten wirklichen Arbeitsleistung nicht an der Stelle des höchsten Druckes liegen, sondern von ihr aus etwas nach vorn verschoben sein, wie dies bereits in Fig. 61 dargestellt wurde. Ist hier die Korrosion beständig stärker als in den weiter nach vorn gelegenen Teilen des Bodens, so muss ein Becken aus-

gehöhlt werden. Wenn in der Horizontalprojektion, Fig. 63, *c* die Stelle des grössten Eisdruckes ist, so bezeichnen die punktierten Pfeile die theoretischen, die ausgezogenen Pfeile die wirklichen Richtungen der konvergierenden Bodenströme, welche die Korrosion ausüben. Die Beckenausschürfung wird in *o* stattfinden. Je nach der Form des Kares können mehrere solcher Konvergenzpunkte vorhanden sein.

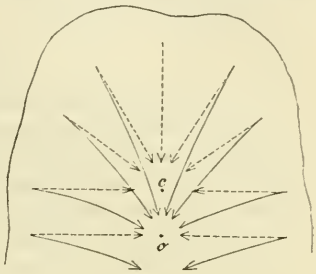

Fig. 63.

Während in der Gletscherzunge eine ganz andere Kräfteverteilung herrscht, dürfte die hier dargestellte dem Hervorpressen der Eisströme aus den Firnfeldern, ebenso wie demjenigen aus der grönländischen Eisdecke (S. 228) zu Grunde liegen. Indessen wird sie bei Thalstufen auch in Gebirgsgletschern teilweise eintreten und die Bildung sogenannter Thalcirken, d. h. wallartig von seitlichen Steilwänden und von einer Thalstufe im Hintergrunde umragter Thalboden, zur Folge haben, wie dies in Fig. 61 dargestellt ist. Aber auch die Trogform der Gletscherthäler beruht wahrscheinlich auf dem gleichen Prinzipe. In ihnen kommen nur die Seitenwände der Cirken zur Ausbildung. Eine hohe Rückwand ist erforderlich, um deren vollendetere Form hervorzubringen. Wo immer sie entstehen, wird die Tendenz zur Aushöhlung eines Beckens etwas vor der Stelle des höchsten vertikalen Druckes und an dem Orte der Konvergenz der meisten auf Bodenarbeit gerichteten Bewegungen innerhalb des Eises vorhanden sein.

Es dürfte übrigens auch in Betracht zu ziehen sein, ob nicht die Art der Anordnung und des Aufeinandertreffens der durch die Pfeile in Fig. 63 dargestellten, mit Korrosion verbundenen Bewegungen von solcher Art sein kann, dass sich am Boden bei *o* eine rotierende Bewegung vollzieht. Einerseits würde sich dadurch die kreisrunde Form vieler Felsbeckenseen erklären; andererseits könnte durch Ausdrechseln die Korrosion zu grösserer Tiefe niedergehen als durch Ausfeilen, und es könnten steilere Umfassungen gebildet werden. Man würde, um dies zu untersuchen, zunächst die Verhältnisse, unter denen runde Felsbecken in Glacialgebieten vorkommen, für eine grössere Zahl von Fällen vergleichend

zusammenstellen und dasjenige aufsuchen müssen, was bei ihnen analog und was verschieden ist. Wie sich nun in einem Cirkusboden mehrere Konvergenzpunkte der korrodierenden Kräfte finden können, so kann die Art ihres Zusammentreffens verschieden sein, und es können nebeneinander mehrere Felsbecken entstehen, deren einzelne Formen auf verschiedenem Kraftansatze durch die resultierende Eisbewegung beruhen.

g. Fjordbildung.

§ 113. Als morphographisches Phänomen sollen die Fjorde an einer andern Stelle besprochen werden (§ 139). Da sie indessen zu denjenigen Erscheinungen gehören, welche hinsichtlich ihrer geographischen Verbreitung an die Regionen ehemaliger Vergletscherung gebunden sind, so mögen die Beobachtungen über ihre Beziehungen zur Glacialdynamik schon hier eine Stelle finden.

Fjorde sind Gebilde supramariner Erosion und Korrosion durch Wasser und Eis. Ihre Entstehung durch Aufspaltung ist ausgeschlossen, ebenso ihre Entstehung unter dem Meere; denn eine Auswaschung in Furchen kann durch die Kräfte des Meeres in der Tiefe nicht geschehen. Fjorde aber reichen mit ihrem Boden oft viele hundert Meter unter das Meeresniveau hinab. Ihre Boden waren daher zur Zeit der Aushöhlung ungefähr um den Betrag ihrer grössten Tiefe über ihr jetziges relatives Niveau erhoben. Sie senkten sich nach dem Meeresspiegel herab, wenn auch ihr Ausgang etwas tiefer als dieser gelegen haben mag. Man begegnet ihnen ausschliesslich an Küsten, welche unter dem Einflusse warmer Strömungen bedeutende Niederschläge erhalten. Sie sind in erster Linie durch fliessendes Wasser geschaffene reine Thalbildungen. Die schmale und tiefe Gestalt erhielten sie wahrscheinlich infolge fortdauernder Vermehrung des Gefälles bei allmählichem Rückzuge des Meeres; ihre letzte Ausgestaltung aber erfuhren sie durch Anfüllung mit Gletschern, wie die Korrosion der Wände in den jetzt vom Meere invadierten Teilen und des Bodens in den höher hinauf gelegenen Teilen beweist. Das steile Gefälle des Bodens wird nach der in § 112 auseinandergesetzten Weise die Ausbildung steiler, stellenweise senkrechter Thalwände, sowie langgezogener Thalzirken und wahrscheinlich auch mancher Korrosionsbecken in festem Gesteine veranlasst haben.

Das Hauptmoment der Fjorde besteht darin, dass das Meer in die alten Thalsysteme bis zu bedeutender Höhe eindringt

und bei seinem allmählichen Vordringen nicht, wie es unter gewöhnlichen Umständen der Fall gewesen sein müsste, die Spuren der Thäler bis unter das Niveau der Thalböden hinab durch Abrasion (§ 161) vernichtet hat. Es muss daher ein Eiswall, ähnlich wie jetzt im östlichen Grönlande, in Grinnellland und Franz-Josephsland und in den südpolaren Gegenden, während der langen Zeiträume der positiven Verschiebung der Strandlinie vorhanden gewesen sein und die Abrasion durch die Brandungswelle, bei gleichzeitiger Ausfüllung der Fjorde durch Gletscher in der Art derjenigen an der grönländischen Westküste, vollständig gehindert haben. Es scheint nur hierdurch die angegebene Ausnahmeerscheinung, dass die in die Gebirgsgehänge erodierten Thalsysteme trotz der nachher eingetretenen Erhöhung des Meeresstandes an den ersteren vollständig erhalten sind, erklärt werden zu können. Der Meeresstand war am Ende der Glacialzeit höher als gegenwärtig; sein Sinken hat wesentliche Veränderung in den Formgebilden nicht hervorzubringen vermocht.

Es wird kaum möglich sein, in irgend einem Falle das Verhältnis, in welchem bei der Vertiefung der Fjordthäler das fliessende Wasser und die Gletscherbewegung beteiligt gewesen sind, mit Sicherheit festzustellen. Wahrscheinlich ist es, dass der Glacialthätigkeit dabei eine nicht unwesentliche Rolle zufällt, wenn sie auch hinter derjenigen des fliessenden Wassers weit zurückstehen dürfte.

Achtes Kapitel.

Beobachtungen an den stehenden Gewässern des Festlandes.

§ 114. Jede geschlossene beckenartige Einsenkung in Festländern giebt zur Existenz eines Sees Anlass, vorausgesetzt, dass die Ansammlung von Wasser durch die klimatischen Verhältnisse ermöglicht wird. Geschlossen ist ein Becken, wenn dessen tiefster Teil unter dem Niveau des möglichen Wasserabflusses liegt. Wird letzteres bei völliger Wasserausfüllung tiefergelegt, so verkleinert sich der See, und er kann völlig entwässert werden; wird es erhöht, so erweitert sich der See, bis er wieder einen Abfluss findet, der nun an einer andern Stelle stattfinden kann. Die Entleerung des Sees findet ausserdem zum Teile oder auch gänzlich durch Verdunstung in die Atmosphäre statt. Ist dieselbe geringer als die Zufuhr an Wasser, so strömt dessen Ueberfluss oberflächlich ab; übersteigt sie sie, so verringert sich das Areal der Fläche, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Bei allzu geringem Zuflusse kann ein völliges Schwinden des Sees eintreten.

Bei jedem See bieten sich als allgemeine Gegenstände thatsächlicher Beobachtung: Gestalt, Umfang und Areal der Wasserfläche; Form und Beschaffenheit der Ufer in allen einzelnen Teilen, ob steil und felsig oder flach und sandig oder thonig; das Vorkommen von Inseln, sowie deren Art und Gestalt; die Tiefe und Bodengestalt; die Speisung durch Flüsse und die Art der Ablagerung von deren Sedimenten; die relative Höhe und Beschaffenheit des Abflusses; die Temperatur des Wassers an der Oberfläche und in der Tiefe, sowie ihr Wechsel in ver-

schiedenen Jahreszeiten; der Grad der Eisbildung im Winter; die Farbe des Wassers und der Grad seiner Klarheit oder Trübung: der Salzgehalt und Geschmack desselben. Die Fauna eines Sees kann für den Geographen hervorragendes Interesse haben, indem sie ihn zur Erforschung der Wege leitet, wie dieselbe hineingekommen ist.

Nach allen diesen Richtungen verhalten sich die einzelnen Seen sehr verschieden. Soweit die Unterschiede nicht in den Grössenverhältnissen allein beruhen, sind sie in erster Linie in der Entstehungsart, d. h. in dem Zusammenwirken geodynamischer Vorgänge und klimatischer Faktoren begründet. Es ist daher gut, sich über die Agentien, welche zur Bildung von Seebecken führen können, Klarheit zu verschaffen. Im einzelnen Falle ist es oft schwierig, die Entstehungsursachen zu erkennen; doch wird man die erforderliche Vorsicht in der Beurteilung derselben um so leichter üben, je mehr man sich der verschiedenen Möglichkeiten, welche vorhanden sein können, bewusst ist.

Wir stellen daher im folgenden die Seen nach den Ursachen der Bildung ihrer Becken in Kategorien zusammen, ohne dass jedoch ihre genetischen Beziehungen damit erschöpft sein dürften.*) Es ist klar, dass es von diesem Gesichtspunkte aus nicht wesentlich ist, ob das Becken noch von Wasser erfüllt oder bereits in das Stadium eines „erloschenen Sees" getreten, d. h. mit Sedimenten ausgefüllt sei.

A. Einteilung der Seebecken.

Vertiefungen des Bodens, welche die Veranlassung zur Entstehung von Seen geben, können hervorgebracht werden: 1) durch gebirgsbildende Vorgänge, denen die aus dem Erdinnern wirkenden Kräfte zu Grunde liegen; 2) durch Einbrüche infolge örtlicher Entziehung der Unterlage; 3) durch Aufwerfen eines Ringwalles mittelst explosiver Thätigkeit; 4) durch Ausräumung;

*) Ein Versuch zu einer derartigen genetischen Einteilung findet sich in Neumayers Anleitung (1. Aufl., S. 291 ff.). Nur wenig später und unabhängig davon gab Peschel eine Uebersicht (Ausland 1875 und Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, 3. Aufl. 1876, S. 165). Weit ausführlicher und auf Grund sorgfältiger Litteraturstudien wurde der Gegenstand von William M. Davis behandelt (in *Proc. Boston Soc. Nat. History* vol. XXI, 1882). Der gegenwärtige Versuch ist eine Erweiterung des erstgenannten.

5) durch Abgliederung eines Teiles einer wassererfüllten Vertiefung; 6) durch Abdämmung eines fliessenden Gewässers; 7) durch unebene Ablagerung. Wenn nun auch bei der Bildung der meisten Seebecken mehr als eine von diesen Ursachen mitgewirkt hat, so können wir doch, nach den Kategorien der letzteren, sieben Ordnungen von Seebecken unterscheiden und ihnen eine achte, in den Reliefformen der Kontinente beruhende hinzufügen. Wir beginnen mit den einfachsten Formen und schreiten zu den komplizierteren fort.

a. Schuttlandbecken.

§ 115. Die Oberfläche des Schuttes ist häufig mit Unebenheiten besetzt. Ist jener locker und durchlässig, so kann alles auffallende Wasser im Boden versinken; findet letzteres ein Hindernis des Eindringens, so sammelt es sich. Solange es sich dann eine tiefe Abzugsrinne noch nicht geschaffen hat, sind in feuchten Ländern die Vertiefungen mit Seen erfüllt. Als regional verbreitete und wichtige Formen gehören hierher:

1) Glacialschuttseen. — Endmoräne und Grundmoräne bieten unebene Formen (§ 106). Da der Boden das Wasser schwer durchlässt, erfüllt dieses leicht die Vertiefungen, welche in verschiedenen Höhen liegen, und fliesst von den höher gelegenen nach den tieferen Becken ab. Die ersteren erhalten wenig Zufluss und wenig Zufuhr von festen Stoffen; das abfliessende Wasser hat daher geringe erodierende Kraft. Infolgedessen erhalten sie sich durch lange Zeit. Die tiefer gelegenen Becken werden von reichlicheren Strömen fliessenden Wassers durchzogen, daher leicht durch Einspülung in Wiesen und Moore verwandelt. Diese aus der Ablagerung selbst unmittelbar hervorgehenden Seen sind von den später zu erwähnenden, die auch noch an Glacialschutt gebunden sind, wohl zu unterscheiden.

2) Dünenseen. — In dem Sande der Dünen versinkt das Regenwasser. Aber die Eigentümlichkeit der Oberfläche des Grundwassers (§ 51, Fig. 7) bringt es mit sich, dass der Boden in einzelnen Einsenkungen beständig feucht erhalten wird und nicht allein eine reichere spontane Vegetation hervorbringt, sondern auch einen oasenartigen Anbau gestattet. Sind Dünen ganz mit Waldvegetation überkleidet und mit einer humusreichen Schicht äolischer Niederschläge (§ 218) bedeckt, so wird das Grundwasserniveau erhöht, und es können sich im Boden der

Vertiefungen leichter als bei unbedeckten Dünen Ansammlungen stehender Gewässer bilden.

3) Korallenschuttseen. — Indem der Korallensand durch die vereinigte Wirkung von Meer und Wind landfest wird und durch Vegetation und kohlensäurehaltiges Regenwasser cementiert wird, gewährt er ebenfalls die Erscheinung einer Oberfläche, die mit unregelmässigen, zur Aufnahme kleiner Seen geeigneten Vertiefungen besetzt ist. Das Wasser findet aber durch die Verfestigung des Untergrundes weit günstigere Bedingungen zur Ansammlung als auf der Quarzsanddüne. Auch greift die die Feuchtigkeit konservierende Vegetation viel leichter und schneller Platz. Korallenneuland, wie auf Florida, dürfte in dieser Hinsicht interessantes Beobachtungsmaterial bieten.

4) Ueberschwemmungsreste. — Die Alluvialländer der Ströme bieten trotz ihres im allgemeinen ebenen Charakters hinreichende Höhenunterschiede dar, dass stagnierende Seen nach dem Rückzuge des Wassers in den Hauptkanal auf ihnen zurückbleiben können. Wenn sie, wie im nördlichen Teile der Grossen Ebene von China, jahrelangen Bestand haben und sich über grosse Flächen ausbreiten, kann man sie als Marken für die Höhenverhältnisse benutzen.

Es giebt noch manche andere Arten von Schuttland, welches in den mit der Entstehung desselben unmittelbar verbundenen Vertiefungen der Oberfläche Seen trägt. Es genüge, an die Schuttmassen grosser Bergabrutschungen und an die in solchem Boden eingesenkten schönen Seebecken bei Flims in Graubündten zu erinnern.

b. Abdämmungsbecken.

§ 116. Wird quer gegen ein Flussbett ein Damm aufgeworfen, so wird ein Becken gebildet, in welchem das Wasser zu einem See gestaut werden kann. Der Vorgang findet besonders in engen Gebirgsthälern statt, weil hier die Agentien, welche Dammaufschüttungen hervorbringen können, am wirksamsten sind, und weil bei einem schmalen und tiefen Bette durch das gleiche Volumen der Aufschüttung ein grösserer Effekt erzielt wird als in einem breiten und flachen. Nach der Art der Abdämmung lassen sich unterscheiden:

5) Bergsturzseen, bei denen der Damm durch Abrutschung von den Gehängen plötzlich gebildet wurde und welche

selbstverständlich von den eben genannten Einsenkungen auf der Oberfläche des abgestürzten Schuttes zu unterscheiden sind.

6) Schuttkegelseen, welche durch das Vorschieben von Schutthalden von den entgegengesetzten Thalwänden gegen die Thalmitte oder durch das Anwachsen eines Schuttkegels aus einer Seitenschlucht quer gegen einen Thalstrom allmählich entstanden sind.

7) Eisdammseen, durch den Gletscher eines Seitenthales im Hauptthale (oder umgekehrt) aufgestaut; die Moräne kann dem Walle Dauer verleihen.

8) Lavastromseen, wo ein Fluss durch einen Lavastrom abgedämmt worden ist.

Bei diesen vier Kategorien, welche zahlreiche kleine, teils mit Wasser erfüllte, teils erloschene Thalseen im Laufe der Gebirgsströme begreifen, ist die Aufmerksamkeit zunächst auf das Entstehungsmoment zu richten, sodann aber auf die Art der Ausfüllung und das Eingraben des Abzugskanals. Es wurde oben (§ 93) des Zusammenhanges dieser Art der Seebildung mit der Entstehung der Thalstufen, und zwar der besondern Form der Dammstufen, gedacht.

9) Endmoränenseen. — Dieser Kategorie wurden vor kurzer Zeit sehr viele Seen zugezählt, indem man annahm, dass durch die sich allmählich erhöhende Erdmoräne eines Gletschers das Schmelzwasser des letztern zu einem See abgedämmt werden könne, der auch nach Verschwinden des Eises bestehen bleiben würde. Es kann jetzt in Frage gestellt werden, ob unter gewöhnlichen Umständen die blosse Aufschüttung dazu hinreichend ist; denn wenn ein Gebirgsgletscher sich zurückzieht, wird das Schmelzwasser den Durchbruch durch den emporwachsenden Wall fortdauernd offen erhalten. Bildet sich dennoch ein See, so wird es nicht ohne vorangegangene Aushöhlung des Bodens im Sinne von § 111 geschehen. Ist hingegen die Erdmoräne auf flachem oder auf ansteigendem Grunde abgelagert, wie es bei denjenigen der grossen Gletscher der Glacialperiode häufig der Fall gewesen ist, so kann allerdings der Schuttwall die Schmelzwasser abdämmen und die Bildung eines sehr ausgedehnten, verhältnismässig seichten Sees veranlassen.

10) Hochflutseen. — Hierher rechnen wir jene eigentümliche Gruppe von Seebecken, welche, wie der Tungtingsee, im Bereiche der Nebenflüsse eines grossen Stromes liegen und

durch Rückstauung der Gewässer derselben zur Zeit des Hochwasserstandes im Hauptstrome gebildet werden, um bei der Erniedrigung des Wasserstandes auf ein kleines Areal beschränkt zu werden oder gänzlich zu verschwinden. Aus der Erörterung des Vorganges in § 85 ergiebt sich, dass das Wasser des Hauptstromes hier die Rolle des abdämmenden Walles übernimmt, allerdings nur zum Teile, indem es zur Füllung des Sees auch selbst beiträgt. Diese Arten von Seen geben zu vielfachen Beobachtungen Anlass. Von Interesse ist besonders die Bildung der jährlichen Sedimentschicht und ihre Erosion durch die allmählich wieder in ihr Recht eintretenden Flussarme.

11) Beständige Seen der Nebenflüsse. — Im Gegensatze zu der eben angeführten periodischen Erscheinung, sowie zu den Seen der sechsten Kategorie, wo der aus einem Seitenthale herauswachsende Schuttkegel den Hauptstrom aufdämmt, geschieht es häufig, dass der Hauptstrom sein Bett und seine Ufer mit Sedimenten erhöht, während die Zuflüsse dies nicht in gleichem Grade zu thun vermögen. Dann werden diese seeartig erweitert. In flachem Lande wird dadurch der Hauptstrom auf eine kurze Strecke abgelenkt. Sind dagegen die Thäler der Zuflüsse, wie es zwischen Galatz und der Donaumündung der Fall ist, in höherm Grunde eingeschnitten, so bleiben die Seen bestehen. Geschieht die Rückstauung des Zuflusses bis zu einer Höhe, welche den niedrigsten Punkt seines Quellgebietes übersteigt, so wird der See über diesen seinen Abfluss nehmen und den letztern so tief eingraben können, dass er beständig wird. Dass derselbe Vorgang in grossem Massstabe selbst in Gebirgsthälern durch sehr mächtige Geröllaufschüttungen stattfinden kann, hat Penck für den durch die Glacialschotter des Innthales in einem Seitenthale aufgestauten und nun über die ehemalige Wasserscheide des letztern sich entleerenden Achensee bewiesen. Die sorgfältige Beobachtung dieses Vorgangs und derjenigen Erscheinungen, welche ein ehemaliges Obwalten desselben erweisen, dürfte zur Erklärung mancher Phase in der Geschichte einzelner Ströme beitragen. Es kann geschehen, dass der Hauptstrom nach dem See des Zuflusses abgelenkt wird und ebenfalls über dessen frühere Wasserscheide seinen Lauf nimmt. Eine solche Stromablenkung kann beständig bleiben. In Gebirgen wird sie durch die auf S. 143 erwähnten Vorgänge unterstützt.

12) Stromlagunen. — So kann man die zu Seen abgeschnürten Teile vormaliger Stromläufe bezeichnen. Sie sind

charakteristisch für die Flachlandstrecken solcher Ströme, welche die Windungen ihres Laufes ohne das Hemmnis künstlicher Eindämmung häufig verlegen. Es sind meist flache Lagunen, von geringer Grösse, länglich gestaltet und entlang einem ehemaligen Strombette aneinander gereiht. Der Nil unterhalb Ladó, der Mississippi, der Irawaddy, der Amur und die untere Donau geben Beispiele davon.

c. Abgliederungsbecken.

§ 117. Teile von Meeresbuchten und Landseen werden nicht selten in gesonderte Becken verwandelt. Die Abschnürung kann durch die Thätigkeit des Meeres, durch das Aufwachsen von Korallenriffen und durch Niveauverschiebung geschehen.

13) Einschwemmungsseen. — Diese entsprechen der unter 6 angeführten Kategorie und bieten nur den Unterschied, dass es sich hier um die Abtrennung der Enden von stehenden Gewässern handelt. Bekannte Beispiele sind die Trennung des Sees von Vercеja vom Comer See durch das Schuttland der Adda und das Fortschreiten einer ähnlichen Abtrennung im Lago Maggiore durch die Schwemmgebilde des Toce. Analog ist die seit Strabos Zeit geschehene Absonderung des hintern Teiles des Latmischen Golfes bei Milet durch die Landbildung, welche der Mäander verursacht hat, und das Fortschreiten desselben Vorganges im Golf von Smyrna durch den Damm, welchen der Hermos vorschiebt.

14) Küstenlagunen. — Das Vorschieben der Küstenwälle gehört zu den beständig wirkenden seebildenden Faktoren. Der Vorgang wird bei Darstellung der Arbeit des Meeres an den Küsten erörtert werden (§ 155 ff.). Es werden dadurch Buchten und Baien in Seen verwandelt, welche, falls ein grösserer Strom hineinmündet, der Ausfüllung durch Deltabildung unterliegen (§ 87). Abgesehen von der Struktur des Walles, seiner Höhe und Breite, den Oeffnungen, welche er darbietet, dem Vorhandensein von Süsswasserströmen, welche in den See münden, und den Arealverhältnissen des letztern, ist die Beschaffenheit des Wassers zu untersuchen. Wo kein Fluss vorhanden ist, verrichtet das Meer die Arbeit allein und macht den Damm kontinuierlich. Es wird dadurch ein Salzwasserbecken abgetrennt, in welchem bei trockenem Klima eine vollkommene Eindampfung stattfinden kann, wie in den Chotts von Tunis. Ist der Damm durch eine tiefe Lücke unterbrochen, so wird durch eine Doppel-

strömung ein Austausch des Wassers in dem Meere und dem Becken vermittelt werden; ist die Lücke seicht, so wird der Verdunstungsverlust in dem Becken durch fortdauernden Zufluss von Salzwasser ersetzt, daher der Salzgehalt vermehrt und das Salz schliesslich niedergeschlagen werden. Wo das Klima feucht ist und der See Süsswasserzufluss erhält, wird er als Durchgang für das letztere dienen und allmählich ausgesüsst werden, falls nicht ein beständiges Eindringen von Meerwasser einen brakischen Zustand erhält. Dadurch wird die Fauna beeinflusst werden. Brakwasserfaunen können zwar einen wechselnden Salzgehalt vertragen; wenn aber in längeren Perioden Extreme des Salzgehaltes gewechselt haben, kann eine Fauna durch eine andere verdrängt worden sein. Ueberhaupt sind vielfache Modifikationen denkbar, deren genaues Studium für die Erklärung mancher geologischer Verhältnisse wichtig sein würde. Es handelt sich hier um kleine, in den Küstengebieten sich vollziehende Vorgänge, welche anderen, die in sehr grossem Massstabe stattfinden und grosse Teile von Kontinenten betreffen können, analog sind. Dieselben sind in § 122 auseinandergesetzt.

15) Strandriffseen und

16) Atollseen gehen aus der Verwandlung von Meeresteilen in abgetrennte Seen mittelst des Aufbaues von Dämmen durch die Thätigkeit riffbauender Korallen hervor. Sie werden an einer andern Stelle (§ 181) zur Sprache kommen.

17) Fjordseen. — Dies sind Wasserbecken, welche die Stelle ehemaliger Fjorde einnehmen. Fjorde sind durch Erosion gebildet, und ihre Sohle lag einst über dem Meeresniveau (§ 113). Stieg letzteres an, während das Inlandeis seine Gletscherströme durch den Fjord hinauspresste, so waren die Bedingungen für die Bildung einer mächtigen Endmoräne an der Stelle, wo das Eis zum Schwimmen kam und sich vom Boden löste, gegeben. Derselbe Effekt musste dort erzielt werden, wo eine warme Strömung der Küste entlang zog und das Abschmelzen der Gletscher an den Ausgängen der Fjorde verursachte. Die Grundmoräne konnte nur bis zu solchen Stellen vorgeschoben werden und musste sich zu stetig wachsender Höhe erheben. Dies scheint die Erklärung für die Thatsache des seichten Ausganges der Fjorde zu sein. Fand eine rückgängige Oscillation in der Verschiebung der Strandlinie statt, so konnte der seichte Grund landfest werden und der Gletscher, über seinen eigenen Schutt hinweggehend, Moränen auf dem trocken gelegten Meeresboden weit

über die ehemaligen Küstenränder hinaus vorschieben. Zog das Meer sich weiter zurück, so blieben die Moränenwälle stehen. Schmolz dann das Eis, so wurden die tiefen Becken in Süsswasserseen verwandelt. Vorgänge dieser Art, bei denen sich jedoch manche Modifikation voraussetzen lässt, mögen der Bildung der langgestreckten Seen am Südfusse der Alpen zu Grunde liegen, deren morphographische Aehnlichkeit mit Fjorden von Oscar Peschel erkannt wurde. Doch sind sie in erster Linie zu Seen aufgestaute Querthäler, und es fehlt noch der Beweis, dass sie durch das Stadium von Meeresfjorden hindurchgegangen sind.

18) Reversionsseen. — Es ist neuerlich von Penck darauf hingewiesen worden, dass die Oberläufe kurzer Flüsse abgegliedert und in Reihen von Seen verwandelt werden können, wenn eine durch ihre Attraktion die Gefällsrichtung bestimmende Masse, wie sie in der Glacialzeit durch das nordische Inlandeis gegeben war, entfernt wird und die Gefällsrichtung sich infolgedessen an einzelnen Stellen umkehrt. Die Theorie, auf welche bereits in § 94 hingewiesen wurde, ist von ihrem Urheber auf die Wasserbecken der baltischen Seenplatte angewendet worden. Verdient sie nicht allein bei der weitern Forschung über diese Gegenden, sondern auch bei der Untersuchung der Seebecken in Finnland, Lappland und Nordamerika volle Beachtung, so ist doch den besonders durch E. Geinitz erhobenen Einwendungen und der Erklärung der baltischen Seen durch Evorsion (Auswirblung mittelst strömenden Wassers) Rechnung zu tragen.

d. Ausräumungsbecken.

§ 118. Hierher gehören alle diejenigen Becken, bei denen eine Aushöhlung durch von aussen wirkende Agentien angenommen werden muss. Sie stehen daher in direktem Gegensatze zu den vorhergehenden wie zu den nachfolgenden Kategorien. Nur in äusserst geringem Grade kann fliessendes Wasser Becken bilden. Frei fallendes und in Wirbeln bewegtes Wasser vermag diese Wirkung durch eigene Kraft in losen Massen und mit Hülfe von Scheuersteinen und Scheuersand in festem Gesteine hervorzubringen. Die kleinen Becken, welche es aushöhlt und von feineren Sedimenten freihält, erscheinen nur als ganz lokale Erweiterungen und Vertiefungen des Flussbettes (s. S. 144, 148, 166). Eis und Wind sind viel wirksamere Agentien.

19) Seen der glacialen Ausräumung. — Die Bildung von Becken mittelst des Hinwegräumens gelockerter Massen durch

Gletschereis kann, wie in § 111 gezeigt wurde, in verschiedener Weise vor sich gegangen sein. Erstens konnte die Entfernung der Produkte der säkularen Verwitterung in einer an Gesteinswechsel reichen Gegend unmittelbar eine an Einsenkungen reiche Oberfläche schaffen. Zweitens konnten an Stellen verstärkten Eisdruckes Becken in den Glacialschottern ausgehöhlt werden. Dies sind reine Glacialausräumungsbecken. Drittens konnten ehemalige Seebecken, deren Wasser durch Sedimente verdrängt war, von diesen befreit und in Seebecken rückverwandelt werden, wie de Mortillet für die Schweizer Seen angenommen hatte. Diese können der gegenwärtigen Kategorie nicht zugerechnet werden; denn die Beckenbildung beruhte bei ihnen auf anderen Vorgängen; die Ausräumung war ein sekundärer Prozess, der allerdings die wichtige Thatsache der jetzigen Wasserausfüllung veranlasste. — Neben den in § 111 genannten Beispielen gehören in diese Abteilung wahrscheinlich viele unter den in ehemals vergletscherten Ländern gelegenen grossen Seen, bei denen man wegen der Schuttumhüllung geneigt gewesen ist, den Ursprung durch Absperrung mittelst Moränenanhäufung anzunehmen. Die grossen Wasserbecken der Seenplatte in Nordamerika sowie die kleineren in Patagonien sind darauf zu untersuchen. Auch dort, wo Alluvialflächen an die Stelle von Seen getreten sind, können Indizien für den gleichen Ursprung der Becken vorhanden sein.

20) Seen der glacialen Korrosion. — Das Ausschleifen von Becken in festem Gestcine ist oben (§ 112) erörtert worden. Als ein Gegenstand sehr entgegengesetzter Ansichten ist dieses besonders zu untersuchen.

21) Seen glacialer Rotation. — Von den durch einfaches Vorschieben der Gletscher an Stellen verstärkten Eisdruckes gebildeten Becken können die runden Kessel unterschieden werden, welche, wie es oben (§ 112) als wahrscheinlich bezeichnet wurde, durch eine den Wasserwirbeln entsprechende Bewegung des Eises ausgedrechselt werden.

22) Aeolische Ausräumung. — Die Produkte der säkularen Zersetzung können an solchen Stellen, wo die Vegetation durch Eintreten eines stark kontinentalen Klimas erstirbt, durch die Kraft des Windes entführt werden. Pumpelly, welcher dies zuerst andeutete, fand in der Mongolei die Gestalten der durch den Wind ihrer Verwitterungsdecke entkleideten Felsmassen, so wie die Theorie (§ 48) es erfordern würde. Der Wechsel ein-

gesenkter und hervorragender Teile des Bodens zeigt sich unabhängig von der Härte der Gesteine, aber abhängig von dem Grade, in welchem sie der Verwitterung nachzugeben oder zu widerstehen vermochten. Vielgestaltige abflusslose Becken sind entstanden, in denen wegen des trockenen Klimas nur vereinzelt ein Salzsee anzutreffen ist. Reichere Niederschläge würden sofort einen Reichtum an Seen schaffen, die allerdings grossenteils schnell von Sedimenten ausgefüllt werden würden. Die Stichhaltigkeit der Theorie sollte auch für andere abflusslose Gegenden geprüft werden.

e. Explosionsbecken.

§ 119. Der Ausräumung eines Beckens von oben steht diametral gegenüber die Ausräumung durch Kräfte von unten. Theoretisch ist die Bildung eines Beckens durch eine Explosion, deren Sitz unter der Erdoberfläche ist und welche durch die momentane Verwandlung überhitzten Wassers in Dampf infolge plötzlicher Druckverminderung oder durch andere explosive Vorgänge verursacht werden kann, unanfechtbar. Angenommen wurde sie für gewisse in vulkanischen Gegenden vorkommende Becken, die sogenannten Maare. Doch scheint es, dass bei diesen zwei Formen zu unterscheiden sind. Zu der einen gehören diejenigen Becken, an deren Rand kein Auswurfsstoff wahrzunehmen ist; wir rechnen sie zu den Einbruchsbecken. Der andern sind diejenigen Becken zuzuweisen, bei denen ausgeworfenes Gestein rings um den Rand angeordnet ist. Da sie sich nur in vulkanischen Gegenden finden und die Auswurfsstoffe wenigstens zum Teil aus vulkanischem Gesteine bestehen, so kann man sie als embryonale Kratere betrachten, die sich nur graduell von den Hochgipfel-Krateren unterscheiden. Beiden liegt die explosive Thätigkeit zu Grunde. Im ersten Falle ist die Kesselbildung durch Ausräumung die Hauptwirkung, die Cirkumvallation des Kessels die sekundäre; im zweiten ist das Aufwerfen des Schuttkegels durch explosive Thätigkeit die Hauptsache, aber der Kraterkessel bleibt infolge derselben Thätigkeit bestehen. Wir unterscheiden daher als zwei nicht dem Wesen nach, aber in der äussern Erscheinung wesentlich verschiedene Endformen:

23) Explosionsseen und
24) Kraterseen.

Die Kraterseen erfüllen die Krater ehemals thätig gewesener Vulkane; die Explosionsseen sind runde Becken, die meist in dem Scheitel eines sehr flachen Kegels von Auswürflingen eingesenkt sind. Es ist stets darauf zu achten, ob das Grundgestein anstehend am Boden oder in Fragmenten unter den Auswürflingen zu beobachten ist.

f. Einbruchsbecken.

Wenn einem Stücke Festland die Unterlage entzogen wird, so sinkt dasselbe nach, und es entsteht ein Becken. Die Ursachen sind wahrscheinlich mannigfaltiger als sie sich gegenwärtig erkennen lassen. Soweit letzteres der Fall ist, kann man die Abkühlung örtlich auftretender erhitzter Massen und die Auflösung des Gesteines als die am häufigsten vorkommenden Veranlassungen hinstellen. § 120.

25) Vulkanische Einsturzseen. — Wenn aufgestiegene Lavamassen erkalten, so schrumpfen sie. Da dies besonders in dem Innern von Vulkanen, welche thätig gewesen sind, und wahrscheinlich auch in ihrem Unterbaue geschieht, so wird leicht in der centralen Masse des Vulkans ein Einbruch stattfinden. Dieser Vorgang scheint den ringförmigen Umwallungen der zusammengesetzten Vulkane (§ 249 d) in den meisten Fällen zu Grunde zu liegen. Gewöhnlich steigt aus der Mitte der Umwallung ein neuer Schlackenkegel auf. Sammelt sich innerhalb jener das Wasser zu einem See, so erhält dieser eine mehr oder weniger runde Gestalt, und in der Mitte ragt eine vulkanische Insel auf. Das grösste Beispiel dieser Art ist der Vulkan de Taal auf der Insel Luzon.

Wahrscheinlich wirkt auch bei den Explosionsseen der Einbruch zuweilen formgebend mit. Ausserdem dürften andere Formen von Seen in vulkanischen Ländern auf Einbruch infolge der unterirdischen Erkaltung von erhitzten Massen zurückzuführen sein, so die grosse Laguna de Bay auf Luzon.

26) Auslaugungsseen. — Wo grosse Massen von Steinsalz, Gips oder Kalkstein durch absteigende Gewässer oder aufsteigende Quellen in Lösung entführt werden, findet ebenfalls Einbruch statt. Am verbreitetsten tritt das Phänomen im Kalksteingebirge auf. Die Seen und Dollinen des Karst gehören vielleicht ganz, wenigstens aber zum grössten Teile, hierher. Ein See vermag nur zu bestehen, wo thonige Schichten, die als Residuum bei der Auflösung zurückgeblieben sein können, eine

undurchlässige Unterlage bilden. Daher sind im Kalkgebirge Kessel ohne Seeausfüllung häufiger. Auch die merkwürdigen Ringbecken zu beiden Seiten des Pindus sind auf den angegebenen Ursprung zu prüfen, gleichviel ob sie schon ganz mit Einschwemmungen ausgefüllt seien oder noch zum Teile Seen beherbergen. Manche jäh und tief eingesenkte, weder auf glaciale Thätigkeit, noch auf tektonische Bewegungen zurückzuführende Seen in Hochgebirgen dürften ebenfalls der Auslaugung ihre Entstehung verdanken; so z. B. der Hallstätter See, der Königssee und andere Seen der Salzburger Alpen, wo der Reichtum an Steinsalzlagern, in Verbindung mit der Art des Vorkommens und der Gestalt, die Vermutung nahelegt. Für einzelne Gebirgsseen der Nordalpen ist der Beweis dieses Ursprungs schon beinahe endgültig erbracht. Bei Gips- und Steinsalzkörpern wird es wesentlich darauf ankommen, ob während der Gebirgsbildung ihre thonige, die Angriffe des Wassers abhaltende Hülle unverletzt blieb oder ob sie durch deren Zerreissung den lösenden Agentien zugänglich gemacht wurden.

In Verbindung hiermit mag erwähnt werden, dass wahrscheinlich auch die Aufblähung des Erdbodens, also derjenige mechanische Effekt, welcher dem der Lösung entgegengesetzt ist, zur Entstehung von Becken Anlass geben kann. Die Bildung von Hydraten, insbesondere die Umwandlung von Anhydrit in Gips, das Stauchen weicher Massen durch Druck, wie man sie in kleinem Massstabe beim Bergbaue und bei der Belastung durch Bauwerke beobachtet, können hierbei wirksam sein.

27) Versenkungsseen. — Ein Einbruch anderer Art, der mehr ein Gleiten ist, entsteht durch das Nachsinken oder Nachsacken durchfeuchteter Sedimente. Der Vorgang ist am häufigsten in neueren Alluvialbildungen, besonders bei Deltas zu beobachten. Grössere Beispiele gewähren der Zuydersee und der Rann of Catch in Indien. Der Effekt auf die innere Struktur der Sedimente ist bei den Tertiärbildungen bei Wien nachgewiesen worden; er ist dort einer Staffelverwerfung (Kapitel XV) ähnlich. Seen dieser Art sind wichtig, weil sie sich am meisten in reichen Kulturländern bilden und ihre Entstehung verhängnisvoll sein kann.

γ. Tektonische Becken.

§ 121. Mit diesem Namen lassen sich alle diejenigen Becken bezeichnen, welche durch tektonische Vorgänge, also durch

Bewegungen in der Erdrinde, entstanden sind und in einem erkennbaren ursächlichen Zusammenhange mit dem innern Gebirgsbaue stehen. Verwerfung, Faltung und Ueberschiebung sind die drei wesentlichen Formen dieser Vorgänge. Grosse Unebenheiten des Bodens wurden durch sie geschaffen. Ob aber die Vertiefungen zur Aufnahme von Seen dienen konnten, wird in jedem einzelnen Falle von ihrer Gestalt und dem Verhältnisse in welchem das Zeitmass der fortschreitenden Dislokation zu der allmählichen Ausfüllung durch Sedimente stand, abhängig gewesen sein. Bei Regenarmut oder gleichförmiger Verteilung geringer Niederschläge und bei Mangel an grösseren Flüssen konnten beckenförmige Hohlräume leichter Bestand behalten, als wo sie von wasserreichen, periodisch stark geschwellten Strömen durchzogen wurden. Theoretisch kann man Verwerfungsbecken und Faltungsbecken als allgemeinste Kategorien unterscheiden. Es ist jedoch in Faltungsgebirgen schwer, beide voneinander zu trennen.

28) Longitudinale Faltungsseen. — Die Längsthäler der Faltungsgebirge sind zum Teile ein Resultat gebirgsbildender Vorgänge. Um aber im einzelnen Falle zu entscheiden, ob Seen, welche in trogförmigen Mulden oder anderen longitudinalen Hohlformen gelegen sind, in der Gebirgsfaltung ihre primäre Ursache haben, muss der gesamte Gebirgsbau genau bekannt sein. Dasselbe gilt von den durch Ueberschiebung verursachten Hohlformen.

29) Transversale Faltungsseen. — Diese entstehen, indem eine Querfurche durch eine sich ihr entgegenstellende Längsfalte abgedämmt wird. Da die Querfurche in der Regel durch den ersten Wasserabfluss gebildet worden ist, müssen diese Seen sich während der Geschichte eines jeden Faltungsgebirges oftmals gebildet haben (s. §§ 88, 89). In den höheren Gebirgsteilen werden sie meistenteils schon längst verschwunden sein; man wird sie in den niederen Gebirgsstufen zu suchen haben. Rütimeyer, Heim und andere haben den angedeuteten Ursprung für mehrere grosse Seen am Nordrande der Schweizer Alpen zu erweisen gesucht; auch ist er von einigen als wahrscheinlich für die grossen oberitalischen Alpenseen angenommen worden.

30) Schichtverwerfungsseen. — Die in Faltungsgebirgen gelegenen Seen, von Längs- und Querrichtung, welche auf Verwerfung der Schichten beruhen, sind von den durch Faltung entstandenen selten genau zu unterscheiden, wie

ja überhaupt beide Vorgänge in engstem Zusammenhange stehen.

31) Gebirgsbruchseen. — Die grossen Dislokationen, welche die Gestalt ausgedehnter Gebiete verändern, werden später (Kapitel XV) betrachtet werden. Wird dadurch ein Gebirge quer durchbrochen und ein Teil versenkt, so kann der Raum von einem Becken eingenommen werden, in welchem, wenn nicht das Meer Zugang hat, ein Binnensee sich bildet. Von dieser Art ist das südliche Becken des Kaspischen Meeres, welches ein Bruchbecken zwischen Kaukasus, Kopet-Dagh und Alburs ist. Denselben Effekt hat der grabenartige oder einseitige Einbruch einer Tafelscholle. Hierher gehört das Becken des Toten Meeres, vielleicht auch dasjenige des Baikal. Das ausgezeichnetste Beispiel aus früherer Zeit ist der grosse See des Rheinthales oberhalb Bingen. In solchen Fällen ist das zu beobachten, was für derartige Bruchbecken überhaupt gilt.

Regionale Verwerfungen und Flexuren von geringerer Amplitüde (und daher schwer zu beobachten) dürften, wenn sie quer gegen die Richtung eines Stromes gerichtet waren, nicht selten zur Abdämmung eines ausgedehnten Wasserbeckens Veranlassung gegeben haben. Für die grossen Seen Nordamerikas ist in dieser Beziehung die Beobachtung noch nicht abgeschlossen. In manchen Fällen ist an die Stelle solcher Wasserbecken Flachland getreten. Es dürfte z. B. bei dem Nile zu untersuchen sein, ob nicht das Flachland, welches mit der Ablenkung des Laufes an der Einmündung des Gazellenflusses sein nördliches Ende erreicht, durch eine von West nach Ost gerichtete, mit Absenkung des Südflügels verbundene Verwerfung verursacht worden ist.

h. Becken der kontinentalen Gliederung.

§ 122. Etwas anders als die Frage nach der Entstehung jedes einzelnen kleinern, mit einem See erfüllten Beckens gestaltet sich die Betrachtung der ausgedehnten Hohlformen der Kontinentalgebiete, wenn sie sich auch nur nach dem Grade und nicht nach dem Wesen von manchen der kleineren Becken unterscheiden. Die Basis für die horizontale und vertikale Gliederung der Kontinente ist die gegenwärtige Begrenzung von Meer und Land, d. h. der jetzige Stand des Meeresspiegels. Durch Aenderungen desselben sind dem Binnenlande Depressionen des ehemaligen Meeresbodens einverleibt. Ausserdem können sich

im Innern der Kontinente durch die grossen Bewegungen der Erdkruste, wenn man von den lokalisierten Verschiebungen innerhalb einzelner Gebirge oder eng begrenzter Gebiete absieht, weite Einsenkungen ausbilden, nach denen die Gewässer hinabfliessen. Beiderlei Erscheinungen hängen häufig miteinander zusammen, indem eine dem Festlande hinzugefügte Depression des Meeresbodens weitere, die Austiefung befördernde Umgestaltungen erfahren haben kann. Daher lassen sich die allgemeinen Ursachen der Entstehung praktisch nicht voneinander trennen. Vom theoretischen Gesichtspunkte aber erscheint es zweckmässig, die Sonderung der beiden Kategorien aufrecht zu erhalten. Sie sind indes den vorhergehenden nicht als gleichwertige Typen anzureihen, da sie nach Gestalt und Entstehungsursachen ungleich umfassender sind und oftmals mit dem einen oder dem andern von jenen zusammenfallen.

1) Binnenländische Meeresreste. — Wird durch Rückzug des Meeres oder durch Hebungsvorgänge ein unebener Teil des Meeresbodens in Festland verwandelt, so bleiben die grossen Depressionen, ebenso wie die kleinen Vertiefungen, mit Salzwasser erfüllt, bis dieses entweder verdunstet oder durch einen sich allmählich eingrabenden Kanal abgezogen oder durch Sedimente verdrängt worden ist. Die Meeresfauna bleibt zurück und wird durch Vermehrung oder Verminderung des Salzgehaltes verändert; einzelne Formen sterben aus, andere vertragen einen grössern Wechsel, sehr wenige überdauern eine vollkommene Aussüssung, alle gehen bei starker Eindampfung zu Grunde. Die Aenderungen, welche zu einer Individualisierung des abgetrennten Teiles führen, beginnen unmittelbar, nachdem sich die Loslösung vollzogen hat. Die verschiedenen Bedingungen, welche dadurch veranlasst werden können, mögen hier noch besonders erörtert werden.

a. Ein Verbindungskanal mit dem Meere bleibt bestehen, hinreichend tief, um den abgetrennten Teil in gleichem Niveau mit diesem zu erhalten. Uebersteigt dann in ersterm der Süsswasserzufluss die Verdunstung, so findet ein Abströmen des Wassers nach dem Meere statt; falls der Kanal tief ist, entsteht gleichzeitig eine geringere Unterströmung von dem Meere nach dem Binnenbecken hin. Der Salzgehalt verringert sich, aber eine völlige Aussüssung tritt nicht ein. Dies ist der Fall des Azowschen Meeres im Verhältnisse zum Schwarzen Meere, des Schwarzen Meeres im Verhältnisse zum Aegäischen Meere, der

Ostsee im Verhältnisse zur Nordsee. Ueberwiegt hingegen in dem abgetrennten Raume, wie im Mittelmeere und Roten Meere, die Verdunstung, so steigt mit dem Salzgehalte das spezifische Gewicht des Wassers. Es fliesst, wenn der Kanal hinreichend tief ist, in einem Unterstrome ab, während ein stärkerer Oberstrom vom Oceane her den doppelten Verlust zu ersetzen strebt. Ist der Kanal seicht, wie am Karabugas-Busen an der Ostküste des Kaspischen Meeres, so findet nur ein Zuströmen statt. Die Konzentrierung des Salzgehaltes kann dann zur Aussonderung der Meeressalze, zunächst des Gipses und dann des Steinsalzes, führen. Die Entstehung grosser Steinsalzlager wird in dieser Weise erklärt. Die Bedingungen des Wasserzuflusses durch festländische Ströme oder vom Oceane (resp. von den grösseren Becken) her, daher auch diejenigen der Verminderung und Vermehrung des Salzgehaltes, können mehrfach gewechselt haben. Dies kann, soweit vorgeschichtliche Zeiten in Betracht kommen, nur an der Hand sorgfältiger Untersuchung der Ablagerungen und ihres Gehaltes einerseits an organischen Einschlüssen, andererseits an Salzen nachgewiesen werden.

b. Der zweite Fall besteht darin, dass das Becken durch Niveauschwankung gänzlich vom Meere abgetrennt wird, aber infolge des Ueberwiegens der Niederschläge über die Verdunstung ein dauernder Abfluss nach dem Meere bestehen bleibt. Der See wird alsdann vollständig ausgesüsst und kann infolge fernerer Aenderungen hoch über dem Meere und weit in dem Innern des Festlandes zu liegen kommen. Einzelne Formen der Meeresorganismen vermögen, wie gesagt, einen solchen Wechsel der Lebensbedingungen zu überdauern, erfahren aber in der Regel dabei eine Umgestaltung. Insofern sie Ueberreste einer ehemals marinen Fauna und Flora darstellen, hat man solche Wasserbecken als Reliktenseen bezeichnet. Wenn nun aber die Verwandtschaft lakustriner Organismen mit marinen Formen ganz allgemein als Beweis dafür angesehen worden ist, dass die Seen, in welchen man erstere fand, in einer nicht weit zurückliegenden Zeit mit dem Meere zusammenhingen, und wenn man daraus ein Hauptmotiv für die Einteilung der Seen hergeleitet hat, so scheint aus den Untersuchungen von R. Credner hervorzugehen, dass man die gedachte Schlussfolgerung nur mit grosser Vorsicht ziehen darf; denn derselbe hat zu zeigen gesucht, dass Bestandteile einer Meeresfauna auch auf Flüssen und vielleicht auf anderen, noch nicht genau bekannten Wegen

in einen See gelangen konnten. Ein sicherer Beweis dafür, dass ein Seebecken ein festländisch gewordener Teil frühern Meeresbodens ist und von dorther Wasseranfüllung und Fauna bewahrt hat, kann nur aus den fossilen Ueberresten der Salzwasserfauna in den Umgebungen des Sees hergeleitet werden.

c. Wenn in einem abgetrennten Becken die Verdunstung grösser ist als der Zufluss, so wird die Verbindung mit dem Oceane aufgehoben. Mit der Wasserhöhe verringert sich die Wasserfläche, daher auch die Verdunstungsfläche, bis bei einem bestimmten Wasserstande Zufluss und Verdunstung sich im Gleichgewichte befinden. Selbstverständlich ändert sich dieser Stand mit den geringsten klimatischen Schwankungen in negativem oder positivem Sinne. Verringerung der Niederschläge vermindert den Zufluss und erhöht in der Regel die Verdunstung; Vermehrung der ersteren hat nach beiden Richtungen den entgegengesetzten Effekt zur Folge. Wenn das in einer festländisch gewordenen Depression des Meeresbodens zurückgebliebene Wasser anfangs bei mildem Klima noch Abfluss hatte und ausgesüsst wurde, so kann später, wenn das Klima einen mehr kontinentalen Charakter annahm und der Abfluss aufhörte, die Konzentration infolge der Eindampfung begonnen haben. Beides scheint in der angegebenen Reihenfolge, wie zuerst Peschel gezeigt hat, bei dem Kaspischen Meere der Fall gewesen zu sein. Hatte hingegen schon seit der ersten Lostrennung vom Meere ein Abfluss nicht stattgefunden, so kann durch Vermehrung oder Verminderung des Zuflusses von Hochgebirgen, durch Wechsel in der Menge der jährlichen Verdunstung, durch Aenderungen im Laufe der Ströme, durch Verlegung der Wasserscheiden und dadurch sich vollziehende Einengung oder Erweiterung der Stromgebiete, durch periodische Aufspeicherung der Niederschläge in Gestalt von Eis und dessen Abschmelzung in einer nachfolgenden Zeit und durch manche andere Umstände der Gleichgewichtszustand im Gewinn- und Verlust-Konto des Sees bedeutenden Schwankungen unterworfen gewesen sein, die sich nach einer Richtung zu völligem Eindampfen, nach der andern zu einem Ueberströmen und der zeitweiligen Herstellung eines Abflusses steigern konnten. Die Geschichte solcher Vorgänge lässt sich zuweilen deutlich verfolgen (s. §§ 91, 132).

Die Beobachtungen über die hier auseinandergesetzten Erscheinungen müssen, um zu sicheren Ergebnissen zu führen,

meist über weite Länderflächen ausgedehnt werden. Aber der aufmerksame Reisende kann Thatsachen entdecken, welche geringfügig erscheinen und doch den Schlüssel für gewisse Hauptmomente in der Entwicklungsgeschichte einzelner Seen und grosser centraler Becken in sich bergen. Wenn beispielsweise in der mittleren Tertiärzeit ein mit grossen eingesenkten Becken besetzter Meeresboden trockengelegt wurde und seitdem kontinentalen klimatischen Charakter behielt, so wird in vielen Fällen die Beckenform gewahrt geblieben sein, weil die Flüsse nicht Kraft genug hatten, den Hohlraum mit Sedimenten auszufüllen und die subaërischen Aufschüttungen in den centralen und trockensten Teilen grosser Becken geringer sind als an den Rändern. Die alten Meeressalze werden neben einer grossen Masse neu hinzugeführter Salze, die Ablagerungen des frühern Meeresbodens in mannigfacher Umlagerung neben neuen fluviatilen und äolischen Sedimenten fortbestehen. Es können vielfache tektonische Umgestaltungen, Ausbrüche vulkanischer Gesteine und andere Veränderungen sich ereignet haben: immer werden wir doch in den Salzseen der Jetztzeit in gewisser Weise einen Ueberrest eines ehemals durch negative Strandverschiebung abgetrennten Meeresteiles erkennen. Das aralokaspische Becken bietet ein sicheres Beispiel dieser Art aus kurz vergangener Zeit. Mit grosser Wahrscheinlichkeit sind höher gelegene Teile der abflusslosen Gebiete Asiens, wie die dsungarische Mulde, das Tarymbecken und der mittlere Teil des eranischen Hochlandes, ebenfalls in ihrem Charakter noch zum grossen Teile durch die ehemalige Anwesenheit des Meeres beeinflusst, so sehr auch andere Agentien bei der Entstehung derjenigen Gebilde, welche hier die herrschende Rolle spielen, beteiligt gewesen sind. Gleiches gilt von dem als Great Basin bezeichneten, zwischen Felsengebirge und Sierra Nevada gelegenen Teile von Nordamerika, einigen Gebieten in Südamerika und grösseren Strecken von Afrika und Australien. Während hier der marine Charakter der ausgetrockneten Meeresboden noch bis zu einem gewissen Grade gewahrt ist, sind andere Gebiete, welche von abgetrennten Meeresteilen bedeckt waren, wie das austropannonische Becken, bei der Trockenlegung zum grössten Teile ausgelaugt worden und jetzt von grossen, in das Meer mündenden Flüssen durchzogen. Die ausgezeichneten Untersuchungen österreichischer und ungarischer Geologen über das letztere können als Muster für die Erforschung der Entwicklungsstadien

dienen, welche ein solches Becken durchlaufen hat, ehe es seine heutige Gestalt erhielt.

2) Centralbecken der Kontinente. Wenn es auch für viele der grossen, seenreichen Hohlformen im Innern der Kontinente wahrscheinlich ist, dass sie als mit Meerwasser erfüllte Vertiefungen bestanden, als der betreffende Teil der Erdoberfläche zum letztenmal aus dem Oceane auftauchte, so gilt dies doch jedenfalls nicht für alle; und auch wo es der Fall war, ist die Form der Depressionen durch spätere, den Grundbau der Kontinente umgestaltende Vorgänge bedeutend beeinflusst worden. Man kann daher ohne Rücksichtnahme auf den Gesichtspunkt ihrer frühern Ausfüllung mit Meerwasser die Depressionen einfach als Formgebilde betrachten. Die Formen ergeben sich aus der Gesamtgestaltung der Umgebungen. Je nach dem Einflusse, welchen diese ausüben, lassen sich drei Unterkategorien unterscheiden: § 123.

a. Depressionen auf Hochflächen, die nicht von hohen Gebirgskämmen überragt werden, behalten ihre Wasserausfüllung sehr vollkommen, weil die Gewässer geringe Transportkraft haben und ihnen wenig Material geliefert wird. Günstig für die Seenbildung wirkt Regenreichtum in gleichmässiger Verteilung, da er auf Hochflächen die vor Zerstörung schützende Vegetationsdecke in höherm Masse als die Erosion befördert und die Hinzuführung äolischer Sedimente nur in geringem Grade gestattet. Diese Bedingungen vereinigen sich in der Region der grossen Seen des äquatorialen Ostafrika ebenso wie in dem nordamerikanischen Seengebiete. Wo ähnlich gestaltete Gebiete trocken sind oder auch nur eine ganz trockene Jahreszeit haben, finden sich keine grossen Seen. Die Wasserarmut allein reicht zur Erklärung nicht hin, da sie auch dem brasilischen Berglande fehlen. Die Ursache ist vielleicht in dem periodischen Niederfallen sehr starker Regengüsse, welche einen Massentransport von Schutt veranlassen, und in der bedeutenden äolischen Umlagerung zu suchen. Dies gilt für die Hochflächen von Atacama, für diejenigen von Texas, für Arabien und andere Gegenden. In solchen Gegenden ist die Untersuchung auf das ehemalige Vorhandensein grosser Seen zu richten.

b. Depressionen zwischen Hochlandgebieten. Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse in Gegenden, wo bedeutende Höhendifferenzen stattfinden und ein kontinentales Becken entweder auf mehreren Seiten durch mächtige Bodenschwellungen

umwallt ist, oder auch nur auf einer Seite von ihnen überragt wird, indem das von denselben herabfliessende Wasser alsdann eine hohe Transportkraft hat. Auch in diesem Falle ist das Klima von grossem Einflusse; aber seine Wirkung ist derjenigen, welche es ihm vorigen Falle hat, genau entgegengesetzt. Sind die Niederschläge reichlich, so ist gewöhnlich ein in der kontinentalen Gliederung beruhender See nicht vorhanden. Denn seit der ersten Existenz der Depression und durch alle Phasen ihrer Aenderungen hindurch musste die Tendenz der Gewässer dahin gerichtet sein, dieselbe bis zu dem Niveau des Abflusses angefüllt zu erhalten, gleichzeitig aber diesen allmählich tiefer zu legen und von den Seiten her die Depression mit Sedimenten auszufüllen. Gegenwärtig befinden sich alle derartigen Binnenlandbecken in dem Stadium gänzlicher Verlandung. Sie werden von reich entwickelten Stromsystemen durchzogen. Es gehören hierher viele der grossen eingesenkten Flachlandstrecken des Binnenlandes.

c. Gänzlich verschieden ist das Schicksal der von Gebirgen umwallten kontinentalen Hohlformen in Gegenden mit geringem Regenfalle. Die ehemalige Wasserausfüllung, gleichviel ob sie ein Meeresrest war oder von Niederschlägen herrührte, musste einschrumpfen. Die Gebirge und ihre Abfälle hüllten sich in ihren eigenen Schutt; äolische Sedimente bedeckten das Land, soweit die Vegetation reichte. Sowohl die Salze des eingedampften Binnenmeeres, falls ein solches vorhanden war, als diejenigen, welche aus der Verwitterung hervorgingen, blieben innerhalb des Beckens selbst. Es wurden öde und einförmige Gegenden geschaffen. Aber während im vorhergehenden Falle, wo reichliche Niederschläge stattfinden, die Seen der kontinentalen Gliederung fehlen, sind sie für die trockenen Centralbecken ein Hauptcharakterzug. Es sind meist salzige Wasserbecken, welche die tiefsten Teile sowohl der im Gebirgsbau beruhenden, als der durch die ungleiche Sedimentanhäufung veranlassten Senken einnehmen. Nur die von den Flüssen durchströmten Seen sind nicht salzig. Hierfür ist das grosse Salzseebecken (Great Basin) zwischen Sierra Nevada und Rocky Mountains das lehrreichste Beispiel. Seespiegel finden sich dort ebenso unter dem Meeresniveau, wie einige tausend Fuss darüber. Aehnlich sind die Verhältnisse in Centralasien, wo die hierhergehörigen Becken von der Centralkette des Himalaya im Süden bis zum Altai im Norden und von den Pamirhochflächen bis zur Mantschurei in

Höhen von 600 bis über 6000 m verteilt sind; ferner auf dem eranischen Hochlande, in Kleinasien, im Innern Australiens und im westlichen Argentinien.

B. Regionale Gruppierung der Seen.

§ 124. Wenn man die Landkarte überblickt, so zeigt es sich, dass die Seen in der Regel gesellig auftreten, indem einzelne Landstriche entweder durch wenige grosse oder durch zahlreiche kleine Seen charakterisiert sind, während andere frei davon sind, und selbst ein ganzer Kontinent, wie Südamerika, wenn man die Südspitze abrechnet, die äusserste Armut an Seen aufweist. Gering ist die Zahl der Seen, welche ganz isoliert auftreten.

Es lassen sich also Seeregionen unterscheiden. Da nun jeder Erdraum überhaupt sich durch eine gewisse, über grosse Strecken annähernd gleichbleibende Summierung von äusseren Formen, inneren Bestandmassen, inneren Strukturverhältnissen und klimatischen Faktoren, d. h. äusserlich gestaltenden Agentien, auszeichnet, so wird auch in jedem durch Seen bezeichneten Erdraume eine gewisse Anzahl derjenigen Bedingungen vorhanden sein, unter welchen sich Seen bilden, während gewisse andere Bedingungen ausgeschlossen sein werden. Es muss zwar jedes Seebecken für sich betrachtet und erforscht werden, um die Ursachen seiner Existenz zu erkennen; aber es wird doch die Einsicht in die gemeinsamen Eigentümlichkeiten, ebenso wie in die gemeinsamen negativen Merkmale der ganzen Seeregion der Untersuchung zur Stütze dienen, da sie ihr für jede einzelne Gegend bestimmte Wege anweist und andere Wege ausschliesst. Es dürfte von diesem Gesichtspunkte nicht überflüssig sein, einen Ueberblick über die hauptsächlichsten Formen der Gruppierung der Seen auf der Erde zu gewinnen. Wenn indes der Reisende zum Verständnisse einer Gegend beitragen kann, indem er seine Aufmerksamkeit den die Existenz der Seen zu Grunde liegenden Merkmalen zuwendet, so wird er ebenso in anderen Erdräumen solche Faktoren berücksichtigen müssen, welche ihr entgegenwirken. Dieselben können entweder in der Abwesenheit derjenigen Bedingungen beruhen, welche Seebecken schaffen, oder in dem Vorhandensein solcher, welche eine schnelle Ausfüllung mit Sedimenten verursachten. Es wird daher, um eine ausreichende Basis für die Vergleichung

zu gewinnen, die Beobachtung erloschener Seen stets erforderlich sein.

Man kann die folgenden Typen von Seeregionen unterscheiden:

§ 125. 1) Regionen der Küstenseen. — Grosse Küstenstrecken sind frei von Seen, andere sind dicht damit besetzt. Es können jedoch hier nur diejenigen Seen in Betracht kommen, deren Existenz mit der Thatsache des Aneinandergrenzens von Meer und Land ursächlich zusammenhängt. Man kann leicht erkennen, dass sie zum Teile ohne Strandverschiebung gebildet, zum Teile auf einem erst jüngst vom Meere verlassenen Küstenlande gelegen sind. Zu den ersteren gehören diejenigen Seen, welche durch Küstenwälle (Nr. 14 der vorhergehenden Uebersicht) oder durch Einschwemmung von Flusssedimenten (13) oder durch Strandriffe (15) und Atollringe (16) vom Meere abgetrennt wurden, ebenso wie diejenigen, welche Vertiefungen in Küstenschuttland, seien es Dünen von Quarzsand (2) oder von Korallensand (3), ausfüllen. Das gesellige Vorhandensein dieser Arten von Seen deutet darauf, dass an der betreffenden Küste die aufbauende Thätigkeit der am Meeresstrande thätigen Kräfte vorwaltet. Die darüber anzustellenden Beobachtungen sind in Kapitel IX (Abt. C) erörtert. An anderen Küsten walten die auf Neuland gelegenen, durch negative Strandverschiebung vom Meere abgetrennten Seen (32) vor. Hierher gehören auch die seenreichen Flachküsten von Binnenmeeren, deren Areal sich durch Verdunstung verkleinert; z. B. diejenigen des Aralsees und der Nordhälfte des Kaspischen Meeres. Fjordseen (17) sind ebenfalls hierher zu rechnen.

§ 126. 2) Seeregionen der Flussniederungen. — Die stehenden Gewässer in den von Flüssen durchströmten Flachländern nehmen in der Regel in umgekehrtem Verhältnisse mit dem Gefälle zu, sind daher in der Deltaregion in grösster Menge vorhanden. Neben der absoluten Menge der Niederschläge (die von geringer Bedeutung zu sein scheint) und ihrer jahreszeitlichen Verteilung ist das Verhältnis zwischen Niederschlag und Verdunstung, der Vertikalbetrag des Steigens und Fallens der Flüsse, sowie der Einfluss künstlicher oder natürlicher Eindämmung zu berücksichtigen. Es gehören hierher die Ueberschwemmungsreste (4), die Stromlagunen (12), die oft sehr grossen, durch Rückstauen der Nebenflüsse bei Hochwasser entstehenden, daher einer periodischen bedeutenden Areal-

veränderung unterliegenden Hochflutseen (10), die permanenten Rückstauseen der Nebenflüsse (11), ferner die Versenkungsbecken in Deltagebieten (27).

Es sind dies nur einige der Kategorien von Wasserbecken, welche in den Stromniederungen vorkommen. Die weiten Alluvialflächen des Amazonas, des Kongo oberhalb Stanley-pool, des Nil von Ladó bis zur Einmündung des Gazellenflusses und des Sobat, ferner diejenigen des Brahmaputra, des Irawaddy, des Yang-tzĕ-kiang von I-tschang-fu bis zur Mündung, der untern Donau, des untern Mississippi, endlich diejenigen der sibirischen Ströme und des Amur geben, ebenso wie alle grossen Deltagebiete, Stoff zu Beobachtungen unter sehr verschiedenen Breiten, unter verschiedenen Bedingungen von Hochwasser und Niederwasser, von Versperrungen durch Strombarren aus Pflanzen oder aus Eis, von Eindämmung oder freiem Laufe, von schneller und langsamer Verdunstung, von stärkerer und geringerer Sedimentführung. Der Reichtum an Seebecken und die Art ihrer Verteilung sind daher in den einzelnen Stromniederungen sehr ungleich.

§ 127. 3) Seeregionen der Faltungsgebirge. — Bei der Gebirgsbildung sind die verschiedenen seebildenden Faktoren in höchster Potenz entwickelt. Faltung, Ueberschiebung, Verwerfung sind die durch Kraftwirkung aus dem Erdinnern veranlassten Vorgänge, welche Becken schaffen (28, 29, 30). Dazu kommen die sich häufig und leicht vollziehenden Abdämmungen von Thälern durch Bergstürze (5), Schuttkegel (6) und Eisdämme (7), die Abschnürung fjordartiger Querthäler (17), die Entstehung von Einbruchskesseln infolge der Auslaugung löslicher Gesteine (26), welche durch die gebirgsbildenden Vorgänge dem Einflusse des Wassers preisgegeben werden. Ferner treten häufig die Wirkungen der Eisbedeckung hinzu, welche in der Ausräumung (§ 111) und Ausfeilung (§ 112) von Seebecken und in der Konservierung von Vertiefungen im allgemeinen bestehen. Dennoch walten gerade in Gebirgen die allergrössten Verschiedenheiten bezüglich des Reichtums an Seen. Die äussere Faltungszone des Himalaya besitzt deren fast gar keine, während die entsprechende Zone der Alpen an Seen aus allen hier genannten Kategorien ausserordentlich reich ist. In den Alpen wiederum waltet ein grosses Gesetz in der Verteilung. Diejenigen Seebecken, welche die Erscheinung von sehr hoch abgedämmten Querthälern bieten, sind innerhalb des Gebirgsrandes eingesenkt,

wie die Querthalseen am Südfusse und an der Grenze der gebirgigen gegen die hügelige Schweiz. Verschieden von ihnen sind die ausserhalb des Gebirgsrandes in Glacialschotter und Glacialschutt gelegenen flachen, grossen Seen, die als Ausräumungsgebilde (19) erscheinen. Einen andern Raum nehmen die kleinen Weiher im Moränenschutte (1) ein. Die kleinen Seebecken im höhern Gebirge sind teils Abdämmungsbecken (5, 6, 7, 9), teils Einbruchskessel (26), teils Felskessel, welche wahrscheinlich durch glaciale Korrosion (20) und Rotation (21) gebildet wurden. — Im Himalaya mussten dieselben seebildenden Faktoren mit viel grösserer Intensität wirken, wenn auch die Glacialwirkungen sich nicht bis in die tiefsten Teile des Gebirges und nicht aus diesem hinaus erstreckten. Das Gebirge ist daher innerhalb der südwärts von der Centralkette gelegenen Faltungszone wahrscheinlich reich an den meisten hier genannten Formen von Seen gewesen; aber die gewaltige Transportkraft der Ströme hat sie schnell ausgefüllt. In beiden Gebirgen sind insbesondere die durch Faltung entstandenen Becken grossenteils schon während der Zeit ihrer Bildung diesem Schicksale erlegen. Wurden sie durch das strömende Eis wieder von ihrem Schutte befreit, so vollzog sich im Himalaya die Wiederauffüllung mit demselben weit schneller als in den Alpen.

Der Unterschied der beiden Gebirge kann nur der mit dem Klima zusammenhängenden Verschiedenheit in der Wirkungsweise der auf die Ausfüllung der Becken mit festen Stoffen gerichteten Kräfte zugeschrieben werden. Aehnliche Ursachen dürften der Verschiedenheit anderer einander ähnlicher, aber unter verschiedene klimatische Bedingungen gestellter Gebirge zu Grunde liegen. Doch ist auch zu berücksichtigen, was weiterhin über die fundamentalen Unterschiede der verschiedenen Gebirgsformen (Kapitel XVI) gesagt werden wird.

§ 128. 4) Seeregionen der Bruchgebiete. — Wo immer Brüche der Erdrinde für eine Gegend charakteristisch sind, sind zugleich die Bedingungen zur Entstehung von Seebecken verschiedener Art, insbesondere von Verwerfungsbecken (30) und Einbruchskesseln (26) gegeben. War vulkanische Thätigkeit mit den Brüchen verbunden, so können die mannigfachen durch sie veranlassten Seebildungen hinzutreten. Auch giebt es manche Bedingungen für Abdämmungen und Rückstauungen von Flüssen. Da die Innenseiten von Faltungsgebirgen sich häufig durch Bruchfelder auszeichnen, so sind dort Becken-

bildungen eine gewöhnliche Erscheinung; allerdings sind oft an Stelle der Seen Sedimentablagerungen getreten.

§ 129. 5) Seen der vulkanischen Gebiete. — Die mit der vulkanischen Thätigkeit verbundenen Veränderungen der Gestalt des Erdbodens sind in besonderer Weise geeignet, die Bildung von Becken und Kesseln zu veranlassen, die sich mit Wasser füllen. Wo die Aeusserungen derselben aufgehört haben, findet man oft nur verlandete Seen; wo jene fortbestehen, sind in der Regel viele Becken noch als Seen vorhanden. Die letzteren werden infolge der vulkanischen Thätigkeit in manchen Gegenden geschaffen, in welchen andere Motive zur Seebildung nicht vorhanden sind. Ausser den Abdämmungen, welche durch Lavaströme (8) und Schuttanhäufungen verursacht werden können, spielen insbesondere örtliche Einbrüche und explosive Thätigkeit, sowie die durch letztere veranlasste kreisförmige Umwallung (23, 24 und 25) eine hervorragende Rolle. Ueberhaupt sind für vulkanische Gegenden kreisrunde Formen der Seen charakteristisch. Kessel von solcher Gestalt sind zuweilen in einem sehr flach ansteigenden Kegel, zuweilen in beinahe ebenem Tufflande eingesenkt. Sie bilden stets eine hohe Zierde der Landschaft.

§ 130. 6) Seen der Glacialgebiete. — Den grössten Reichtum an Seen haben diejenigen Festlandsteile aufzuweisen, welche ehemals mit einer Decke von Inlandeis oder den aus dem letztern hervorströmenden Gletschern bedeckt gewesen sind. Um den Grad der gegenseitigen Beziehungen zu erkennen, sollten die Grenzen der Verbreitung der Spuren der Eisbedeckung und diejenigen der Seengebiete sorgfältig aufgezeichnet und miteinander verglichen werden. Auch wird es nützlich sein, die Seen nach Analogien zu gruppieren. Zum Anhalt für solche Analogien können dienen: 1) die Höhenverhältnisse und der orographische Charakter der Umgebungen, die Lage in Karen (§ 112), in Thalcirken, in Thalzügen überhaupt, in Längs- oder Querthälern, innerhalb des Gebirgsfusses oder ausserhalb desselben am Gebirgsrande, in ebenem oder welligem Flachlande; 2) das Verhältnis der Tiefe zum Areale, das Verhältnis der Breite zur Länge, die Richtung der Längsachsen, ihr Parallelismus oder ihre Reihung nach bestimmten Linien; 3) der Charakter der Umrandung, ob er bloss aus Fels oder auch zum Teile oder ganz aus Moränenschutt resp. Glacialschotter besteht. Ferner sollte 4) die Beziehung der Seen zu den Arten der Gesteine

beobachtet werden. Denn es ist wohl zu beachten, dass in Nordamerika, ebenso wie im nördlichen Europa, das Urgebirge, sowie das aus gefalteten und metamorphosierten paläozoischen Schichtgesteinen bestehende Gebirge mit Seen, welche Becken im Gesteine ausfüllen, besäet sind, während sie auf den flach aufgelagerten Sedimentgebilden sparsamer werden oder auch ganz verschwinden, obgleich die Eisbedeckung sich über diese hinweg erstreckt hat. Die Ursache des verschiedenen Verhaltens lässt sich nicht immer klar erkennen. Letzteres hat dazu geleitet, die kausalen Beziehungen des Eises zur Existenz der Seen überhaupt in Abrede zu stellen und deren Entstehung auf anderweitig zu erklärende Eigentümlichkeiten der ungleichförmigen Oberfläche des ältern Gebirges zurückzuführen. Es ist oben (§ 48) auf die verschiedenartige Vorbereitung der Gesteine durch säkulare Zersetzung für die Bearbeitung durch das Eis hingewiesen worden. Sie sollte in steilgestellten Urgebirgsschichten in ausserordentlich unregelmässiger und vielgestaltiger Weise in die Tiefe eingreifen, sodass die glaciale Erosion und Korrosion (§§ 111, 112) eine höchst unebene, mit Vertiefungen dicht besetzte Fläche schaffen würden, während die gerade in den genannten Regionen flach ausgebreiteten Schichten der Sedimentformationen, soweit sie überhaupt der säkularen Zersetzung unterlagen, in mehr gleichmässiger Weise angegriffen werden mussten, sodass das Eis keine vorgebildeten Becken angetroffen haben würde.

Ein anderer Umstand, welcher in beiden Kontinenten gleichartig auftritt, ist das Vorkommen verhältnismässig sehr grosser Seebecken an der Grenze des Urgebirges gegen die Sedimentformationen, aber schon innerhalb des Gebietes der letzteren. Die Region der grossen amerikanischen Seen bietet in dieser Beziehung eine nahe Analogie mit dem Gürtel ausgedehnter Wasserbecken, der sich vom Wenern über den Ladogasee bis zum Weissen Meere zieht.

Wenn die nordischen Glacialgebiete bezüglich ihrer Seen noch manche ungelöste Probleme bieten, so sind diejenigen der Südhemisphäre in Hinsicht auf dasselbe Phänomen, mit Ausnahme einiger ausgezeichneter Arbeiten in Neuseeland, noch wenig untersucht. Die Seen der Anden von Südchile und Patagonien und der östlich vorliegenden Gebiete scheinen grossenteils mit der ehemaligen Vergletscherung im Zusammenhange zu stehen. Ausfurchungen in Glacialschotter kommen dort wahr-

scheinlich vielfach vor. Insbesondere ist zu untersuchen, ob nicht das breite Längsthal, welches sich in Chile dem Westfusse der Anden parallel erstreckt und von den Gewässern quer durchströmt wird, von Glacialschotter erfüllt ist; ob die am Ostfusse noch vorhandenen Seen nach Art derjenigen von Oberbayern in derartige Schotter eingesenkt sind und ob nicht eine Reihe anderer Becken in Alluvialflächen verwandelt worden sind.

7) Abflusslose Seen der Centralgebiete. — Die abflusslosen Räume im Innern der Kontinente stehen unter einer Fülle derjenigen Bedingungen, unter denen sich Becken bilden konnten. Nur wenige sind ganz ausgeschlossen. Ihnen allein eigentümlich ist nur die äolische Erosion (§ 194). Aber alle Vorgänge sind hier auf die Hervorbringung gleichartiger Gestaltungen hin gerichtet. Selten haben die Becken noch die Eigentümlichkeiten bewahrt, welche der Entstehungsart jedes einzelnen von ihnen zukommen. Die meisten sind in weite flache Vertiefungen verwandelt. Daher sind auch die Seen selbst flach. Diejenigen, welche nach einem andern See entleert werden, haben süsses, alle anderen salziges Wasser. Es ist bereits dargestellt worden, wie der Gehalt an gelösten Stoffen sich bis zum Absatze kristallisierter Salze am Boden steigern, und wie bei grosser Trockenheit eine Salzkruste an die Stelle des Sees treten kann. Da die schwer löslichen Salze zuerst auskristallisieren, so müssen die Bodenabsätze in sorgfältiger Sonderung gesammelt werden. Von den hierher gehörigen Gebieten der Erde wurden die hervorragendsten bereits (§ 123) angegeben. § 131.

Die Salzseegebiete sind besonders lehrreich, wo sie an andere Gebiete von verschiedenem Charakter grenzen. Dem Mangel an Seen auf der regenreichen und tief durchfurchten Südseite des Himalaya steht ein Reichtum an Seen auf der fast regenlosen, äusserlich viel weniger gegliederten Nordseite und dem Hochlande von Tibet entgegen. Dort füllen die Gewässer die Becken mit Sedimenten an und graben sich selbst eine Furche zum Auswege; hier sind sie für beiderlei Arbeit gänzlich unzureichend. Daher sammelt sich das Wasser, so gering seine Menge ist, in Seen.

8) Isolierte Seen. — Selten findet sich in einem weiten seefreien Lande ein isolierter See, wie der Tanasee in Abyssinien, der See von Valencia in Venezuela, der Titicacasee in Bolivia, der Baikalsee in Ostsibirien, das Tote Meer in Palästina.

Das Problem der Entstehung gewinnt in solchen Fällen um so höheres Interesse.

C. Aenderungen in Seebecken.

§ 132. Die Geschichte eines Sees ist von der Frage nach der Entstehung seines Beckens nur zum Teile abhängig. Denn diese ist nur die erste Phase von jener. Die späteren Aenderungen sind von Interesse für Untersuchungen über Wandlungen des Klimas, über Aenderung von Faunen und Floren, über die Entstehung von Kulturstätten für den Menschen und über die Verödung und Vernichtung derselben. Sie betreffen: 1) die Höhe des Wasserspiegels, zugleich diejenige des Zuflusses und Abflusses; 2) die Beschaffenheit des Wassers; 3) die Einschränkung des Wasserspiegels durch Einschwemmungen.

1) Aenderungen in der Höhe des Wasserspiegels. — In einem abgeschlossenen Becken ändert sich, wie in § 122 erörtert wurde, der Wasserstand mit dem Klima, indem bei jedem einzelnen Grade der Niederschlagsverhältnisse ein Gleichgewichtszustand zwischen Zufuhr und Verdunstung des Wassers erstrebt wird. Das Sinken des Wasserspiegels lässt sich an alten Uferlinien und mit ihm verbundenen, organische Reste führenden Ablagerungen erkennen. Das Steigen ist schwer nachzuweisen. Man kann es unmittelbar erkennen, wo, wie am Ostende des Issyk-kul-Sees, menschliche Wohnungen vom Wasser überspült sind; ebenso wo Waldvegetation nur mit den Wipfeln aus dem Wasser hervorragt. Wahrscheinlich wird es: 1) wenn an den Ufern des Sees keine Schuttkegel vorkommen, sondern die Wasserfläche in langen Armen in die Betten der Zuflüsse eingreift; 2) wenn ein abgeschlossener See Wasser von geringem Salzgehalte besitzt und Spuren eines vormalig höhern Standes nicht nachzuweisen sind; denn wo diese vorhanden sind, kann die Salzarmut darauf beruhen, dass der vormals ganz oder zum Teile ausgesüsste See seinen Abfluss verloren und sein Niveau erniedrigt hat; 3) wenn bei einem abfliessenden See die Entstehung des Abflusses sich als ein ganz recenter Vorgang erweist. Man kann in solchen Fällen schliessen, dass eine Vermehrung der Niederschläge stattgefunden hat. Als Vorbild für die Forschung über die Geschichte der Seen können die ausgezeichneten und mustergültigen Untersuchungen von Gilbert und Russell über die sehr bedeutenden Aenderungen des Wasser-

standes in den westlich vom Felsengebirge gelegenen grossen Becken gelten, welche als Lake Bonneville und Lake Lahontan bezeichnet worden sind (s. *Annual Report U. S. Geological Survey* II und III). Aehnliche Forschungen lassen sich in noch grösserm Massstabe im centralasiatischen Tarymbecken und den östlich angrenzenden Teilen der Mongolei, sowie im dsungarischen Becken ausführen. Dort blieb nach dem Rückzuge des Meeres, dessen sichere Spuren nur aus der Zeit der obern Kreide vorliegen, ein mit Wasser gefülltes Binnenbecken ungefähr von der Grösse des Mittelmeeres zurück. Sein früherer Stand scheint nur an Ablagerungen erkennbar zu sein, welche später (vielleicht in der Zeit der vulkanischen Thätigkeit) mehrfach von Flüssen durchschnitten wurden. Nur einige seichte Salzwasserbecken, die einige tausend Fuss tiefer als das frühere Niveau des Sees liegen, sind heute noch vorhanden. — In der Jordanspalte liegen alte Wassermarken hoch über dem jetzigen Spiegel des Toten Meeres. Sie sollten vielfach auf dem eranischen Hochlande und in den Becken der abflusslosen Seen Armeniens nachzuweisen sein.

Von hervorragendem Interesse würden Beobachtungen über die ehemaligen Wasserstände im aralokaspischen Becken sein. Hier gilt es besonders, fossilienführende Ablagerungen zu finden, um den allmählichen Rückzug der Ufer in Verbindung mit den ähnlichen Aenderungen, welche ein sehr grosses, die pontischen Länder Europas mit umfassendes Gebiet gleichzeitig betroffen haben, kennen zu lernen. Man hat in einzelnen höheren Lagen Austernbänke und andere marine Reste entdeckt; aber die Funde sind bis jetzt äusserst sparsam und lückenhaft. An solchen Stellen, wo Flüsse aus dem Gebirge kommen und sich in die Ablagerungen tiefer eingeschnitten haben, dürfte zumeist ein Erfolg zu erwarten sein. Ein Interesse besonderer Art knüpft sich an die Möglichkeit von Beziehungen zwischen früheren Wasserständen und vorhistorischen Völkerwohnsitzen. Die Länder im Osten und Süden des aralokaspischen Beckens gelten als das Stammland der indoeuropäischen Völkerfamilie, und manches deutet darauf, dass hier eine der frühesten Kulturentwicklungen stattfand. Zu dieser Rolle sind sie gegenwärtig ungeeignet; aber der Nachweis einer erheblich grössern Ausbreitung der Gewässer und daher auch eines feuchten Klimas zur Zeit der Anwesenheit des Menschen würde die grosse vorgeschichtliche Rolle dieser Länder erklärbar machen.

Selten wird sich das Niveau, in welchem ein See früher durch einen längern Zeitraum gestanden hat, mit hinreichender Deutlichkeit auf grosse Erstreckung verfolgen lassen, um zu erkennen, ob die Ebene des ehemaligen Seespiegels mit der gegenwärtigen Oberfläche parallel oder in einem Winkel gegen sie geneigt war, d. h. ob die Geoidfläche sich in der betreffenden Gegend geändert hat. Nachdem Gilbert eine mehrfache Divergenz der früheren Seespiegel am Lake Bonneville nachgewiesen hat, dürften ähnliche Untersuchungen in anderen Gegenden hohes Interesse bieten. Es ist dann noch in jedem Einzelfalle zu untersuchen, ob der Divergenz eine ungleiche Niveauschwankung des Festlandes zu Grunde liegt, oder ob sich an einem Ende früher eine anziehende Masse befunden hat, welche verschwunden ist, z. B. eine mächtige Eisanhäufung. In diesem Falle würde die obere Fläche eine konkave Gestalt haben müssen. Analoge Beobachtungen lassen sich vielleicht betreffs ganz recenter Verschiebungen von Seespiegeln ausführen, und zwar dann, wenn an einem Ende ein Zurückweichen des Sees, am andern ein Vordringen und Ueberfluten menschlicher Wohnungen stattfindet, wie beides von dem Issyk-kul berichtet wird.

Wenn ein See konstanten Abfluss hat, so kann dieser sich tiefer einschneiden und damit die Wasserfläche tiefer gelegt werden. Dies wird teils durch Flutmarken an steileren Küsten erkennbar sein, teils dadurch, dass die den See speisenden Flüsse sich in ihre eigenen Ablagerungen tiefer eingraben.

2) Aenderungen in der Beschaffenheit des Wassers. — Die am leichtesten erkennbaren Veränderungen bestehen in einer Vermehrung oder Verminderung des Salzgehaltes. Die Metamorphose abgetrennter Meeresteile durch Verminderung der Salinität, indem Flusswasser zuströmt und Seewasser abfliesst, ist eine häufige, bereits (§ 122) erwähnte Erscheinung, welche an der Hand der Fauna zu erweisen ist.

3) Aenderung durch Einschwemmung fester Massen. Dieser Vorgang wurde in § 84 behandelt.

Neuntes Kapitel.

Beobachtungen an Meeresküsten.

Die Gestade des Oceans gehören zu den wichtigsten Schau- § 133.
plätzen der Beobachtung für den Reisenden. Bietet schon die Begrenzungslinie von Meer und Land an sich, als die Scheide zwischen den zwei augenfälligsten Grundelementen der Erdoberfläche, einen Gegenstand von hohem Interesse, so wird dieses durch die sich hier unablässig vollziehenden Kraftwirkungen gesteigert. Das Meer wird in verschiedener Weise in Bewegung gesetzt. Die Kräfte, welche durch die Umsetzung der Wärmestrahlen der Sonne erzeugt werden und sich in erster Linie in der bewegten Luft manifestieren, verursachen einerseits eine Wellenbewegung, welche sich in den Oberflächenteilen des Meeres fortpflanzt, andererseits Strömungen, welche in grosse Tiefe hinabreichen können, während diejenige Bewegung der Oceane, welche in der kosmischen Anziehung ihren Grund hat und sich in den Erscheinungen von Ebbe und Flut äussert, das Meer bis auf seinen Boden erfasst. Dasselbe thun die Erschütterungen des Oceans durch Erdbeben. Diese verschiedenen Bewegungen werden zum Teile durch innere Reibung oder durch entgegenwirkende Kräfte neutralisiert; zum Teile aber setzen sie sich an den Küsten in Arbeit um, welche in Zerstörung, Transport und Ablagerung besteht. Ist auch der Bereich dieser Arbeitsäusserung auf schmale Zonen beschränkt, die sich entlang den Küsten hinziehen, so ist sie doch infolge der grossen Länge der letzteren zu jeder Zeit sehr erheblich. Eine viel grössere Bedeutung aber erlangen die hier zu beobachtenden Phänomene, wenn man erwägt, dass diese gewaltigen Zerstörungs- und Aufbereitungswerkstätten im Laufe der Zeit durch

Verschiebung der Strandlinie ihren Schauplatz wechseln, dass jeder Teil jedes Kontinentes zu wiederholten Malen ein solcher Schauplatz gewesen ist, und dass die aus der Zerstörung hervorgehenden Produkte dieser Arbeit einen Hauptteil in der Zusammensetzung der Festlandsmassen haben.

Es bietet sich hier ein noch viel zu wenig bearbeitetes Feld der Beobachtung. In der Regel landet der Reisende in Häfen, wo die Küstenarbeit gering ist, und nur wenige haben es sich zur Aufgabe gemacht, die schwerer erreichbaren, sturmumwogten Teile der Küsten eingehend zu studieren. An diesen giebt es, trotz der ausgezeichneten Forschungen, welche besonders an den englischen und schottischen Küsten durch Männer wie de la Beche, Lyell, Ramsay, A. Geikie und andere ausgeführt worden sind, noch viele offene Fragen, zu deren Lösung der Reisende die Gelegenheit ohne erhebliche Schwierigkeit aufsuchen kann. Es sind Probleme von grosser Tragweite für die Kenntnis der gegenwärtigen Verhältnisse, wie für diejenigen, welche in vergangenen Zeitaltern der Erde geherrscht haben. Die Forschung wird überdies wesentlich dadurch gestützt, dass von den meisten Küsten, dank vor allem den bewunderungswürdigen Arbeiten der britischen Marine, gute und zum Teile sehr genaue Karten vorhanden sind. Dies darf allerdings den Reisenden nicht abhalten, die Einzeleinzeichnung in noch grösserm Massstabe und mit Berücksichtigung aller Beobachtungsmomente auszuführen. Der Besitz einer sichern Grundlage erleichtert hier diese Arbeit ungemein.

Es soll im folgenden erst die Morphographie der Küsten betrachtet und dann zu den an sie sich knüpfenden Beobachtungen über dynamische Vorgänge übergegangen werden.

A. Gestalt der Meeresküsten.

§ 134. Wenn man die Küstenlinien auf Landkarten vergleichend betrachtet, so fällt einerseits die Mannigfaltigkeit ihrer Gestalt sofort ins Auge; andererseits wird man gewahr, dass gewisse Formen mehrfach wiederkehren. Beides zeigt sich deutlicher, je genauer die Karten sind, welche zu Grunde gelegt werden. Enthalten dieselben auch die Gebirge des Festlandes, so glaubt man an einzelnen Stellen nahe Beziehungen zwischen ihnen und den Küstenlinien zu erkennen; an anderen zeigt sich eine übermässige Gliederung der letzteren, wo die Bodenplastik einfache Verhältnisse zeigt; und wieder an anderen beschreibt die Küste eine leicht und regelmässig geschwungene Linie, wo man nach dem

Festlandsbaue eine reiche Gliederung erwarten würde. Der Reisende hat die Aufgabe, diese gegenseitigen Beziehungen genau festzustellen und nach den Ursachen zu forschen, welche der Gestalt der Küstenlinie in jedem einzelnen Falle zu Grunde liegen. Zum Zwecke bessern Verständnisses muss man sich bewusst sein, dass die Küste nicht nur Meeresfläche und Landfläche scheidet, sondern auch die Grenze zwischen dem Meeresboden und der Plastik des Festlandes bildet, also zwischen dem Gebiete der Ablagerung und dem Gebiete der Abtragung, und dass die meisten von aussen wirkenden Agentien auf dem Lande differenzierend, auf dem Meeresboden aber nivellierend wirken. Die Küstenlinien können nach dem eben Gesagten je nach dem Ausschlage der jüngsten Niveauschwankungen entweder durch die Formen des Festlandes oder durch diejenigen des Meeresbodens beeinflusst werden. Ihre Gestalt kann danach zwei verschiedene Grundtypen haben. Es ist aber zuweilen keine von beiden vorhanden. Denn es kommt als dritter gestaltender Faktor die dynamische Einwirkung der Meeresbewegung, die im nachfolgenden zu betrachtende Arbeit der Brandungswelle und der Strömungen, hinzu. Versucht man, auf Grund dieser einfachen Erwägungen die gleichartigen Küstenformen in Gruppen zusammenzufassen, so ergiebt sich als höheres Vergleichungsmoment das Verhältnis des allgemeinen Verlaufes der Küsten zu der kontinentalen und insularen Plastik, als niederes das Verhältnis der Einzelgliederung der Küsten zur Einzelgliederung oder den sekundären Elementen, des Bodenreliefs. Sie werden im folgenden in dieser Reihenfolge behandelt werden. Schliesslich sollen dann noch eine Reihe modifizierender, mit dem Festlandsbaue und mit der Gestalt des Meeresgrundes in geringem oder gar keinem unmittelbaren Zusammenhange stehende Formenverhältnisse erörtert werden. Vorher sind einige elementare, auf das Vertikalprofil bezügliche Vorbegriffe zu erläutern.

a. Küstentypen nach der Gestalt des Vertikalprofils.

§ 135. Man erhält das Abbild der vertikalen Gestalt der Küsten durch Querschnitte, welche vom Meeresboden nach dem Innern des Landes geführt werden. Steigt das Land steil an, so hat man eine Hochküste, steigt es flach an, so hat man eine Flachküste; ebenso kann man im Meere einen Tiefboden und einen Flachboden unterscheiden. Es ergeben sich hieraus vier Kombinationen, von denen nur eine, nämlich Flachküste

und Tiefmeer, wenig vertreten ist. Eine Modifikation wird durch das Vorhandensein des durch die brandende Meereswelle gebildeten Strandes (§ 153) hervorgerufen, eine zweite dadurch, dass das steil ansteigende Land durch einen flachen Streifen von der Küste getrennt sein kann. Man erhält dadurch die folgenden, auf die Gestalt des Vertikalprofils gegründeten Küstenformen:

1) Die Steilküste. Sie besteht aus Felsabstürzen, welche sich in die Tiefe des Meeres hinabsenken, ohne dass die Berührungslinie mit der Meeresoberfläche durch eine wesentliche Aenderung in der Form bezeichnet ist. Hierher gehören grosse Teile der Fjordküsten. Es sollten die Höhen des übermeerischen, ebenso wie die Tiefe des untermeerisch versenkten Teiles, die Neigungswinkel beider, die Art und Lagerung der Gesteine untersucht werden. Auch ist darauf zu achten, ob die Böschung des übermeerischen Teiles durch alte Strandterrassen (§ 160) unterbrochen und ob in der Zone zwischen Ebbe und Flut eine ähnliche Unterbrechung in der Bildung begriffen ist.

2) Die Strandküste mit Steilrand. So kann diejenige häufig vorkommende Form bezeichnet werden, welche aus einer von der Flutwelle erreichten und auf einen Strand abfallenden Felswand gebildet wird. Hier sind die in § 153 genannten Beobachtungen über Form und Gesteinscharakter der klippigen Abfälle, über die Art des Strandes, ob felsig oder sandig oder von Felsblöcken bedeckt, über die Berührungszone von Strand und Abfall, insbesondere die Form und Höhenlage der ausgewaschenen Hohlkehle, falls eine solche vorhanden ist, über das Verhältnis des Effektes des Wogenanpralls bei der höchsten Flut und bei Sturm anzustellen. Solche Küsten sind die eigentliche Werkstätte der Brandungswelle; ihre Arbeit der Zerstörung, Aufbereitung und Ablagerung kann hier beobachtet werden. Auch ist zu untersuchen, ob die kleinen Felsfragmente dem Gesteine des Steilrandes entsprechen oder durch Wanderung entlang der Küste (§ 155) in ihre Lage gekommen sind. Die Art der Ansiedlung von Pflanzen und Tieren bietet gerade an solchen Stellen manches Interesse.

Der Strand zeigt die Gestalt des Meeresbodens nur bis zum Niveau der Ebbe herab. Es sollte seewärts untersucht werden, ob in geringerer oder in grösserer Entfernung ein steilerer Absturz folgt, oder ob der Meeresboden mit wenig veränderlicher Neigung weithin fortsetzt. In letzterm Falle ist anzunehmen, dass die Abrasion bei positiver Strandverschiebung seit langer

Zeit in gleichem Sinne fortgewirkt hat und die Steilwand die gegenwärtig von ihr erreichte Grenze bezeichnet.

Besondere Aufmerksamkeit verdient das Verhältnis zwischen der Zerstörung durch das Meer und derjenigen durch die atmosphärischen Agentien. Sind die Gesteine sehr fest und rückt das Meer langsam vor, so wird die äussere Abtragung derjenigen durch das Meer voraneilen; die Abhänge werden geringe Abbrüche gegen das letztere zeigen. Bietet das Gestein geringern Widerstand, so werden steile oder senkrechte Abbrüche gegen das Brandungsniveau geschaffen werden, ehe die fliessenden Gewässer eine gleichmässigere Böschung herzustellen vermögen. Dies ist z. B. der Fall bei den aus rotem Sandsteine (Old Red) bestehenden Orkneyinseln; das andere Verhältnis findet sich bei den aus Gneis zusammengesetzten Hebriden und Shetlandsinseln.

3) Die Strandküste mit zurückliegendem Steilrande. Diese Form unterscheidet sich von der vorhergehenden dadurch, dass der höchste Meeresstand, auch bei Sturmwellen, nicht bis zu dem Steilrande heranreicht, sondern durch eine dem Charakter des Strandes entsprechende Zone flachen Landes von ihm getrennt bleibt. In diesem Falle hat sich, seitdem das Meer an der Zerstörung des Steilrandes arbeitete, eine in ihrem Gesamteffekte negative Strandverschiebung vollzogen. Ob auch noch die letzte Bewegung in diesem Sinne geschehen ist, wird sich zuweilen durch die in § 168 angeführten Merkmale entscheiden lassen. Solche Flächen sollten, besonders wenn sie aus Felsboden bestehen, sorgfältig untersucht werden; doch gewähren auch die Ablagerungen, die Art ihrer Umgestaltung durch Wind und fliessendes Wasser, die Spuren der frühern Meeresbedeckung und vieles andere Interesse.

4) Die Flachlandküste. Die Kombination von Flachland und Flachboden des Meeres ist eine sehr häufige. Sie ist die Regel an den Küsten der flachen Tiefländer. Man kann in solchen Fällen von einem bis zu einem gewissen Niveau vom Meere bedeckten Flachlande sprechen. Die Brandung übt bei dem Vordringen wie bei dem Rückzuge des Meeres wesentlich eine umlagernde, aber keine in erheblichem Masse umgestaltende Wirkung aus. Der Kontrast, welcher hier besonders wirkungsvoll in die Augen fällt, ist in der verschiedenartigen Behandlung des gleichartigen Materials durch die Agentien des Festlandes und diejenigen des Meeres begründet. Sie lässt sich dahin bezeichnen,

dass die durch die ersteren geschaffenen Unebenheiten, mit Ausnahme der vom Winde getriebenen Dünen, die Tendenz zu rechtwinkliger Stellung gegen die Küste haben, wogegen die Unebenheiten des Meeresbodens wesentlich der Küste parallel angeordnet sind. Der Gegensatz wird sich bei Niveauschwankungen in der Gestalt der Schwemminseln und der Einbuchtungen aussprechen.

Lagunenküsten, Dünenküsten und umwallte Flachküsten sind nur einzelne, teils aus solchen, zuweilen nur auf lokaler Einsenkung beruhenden Schwankungen, teils aus der Küstenarbeit des Meeres und der Einwirkung des Windes hervorgehende Modifikationen der Flachlandküsten. In der Regel bearbeitet das Meer hier nur die Gebilde, die es einst selbst an seinem Boden anhäufte. Dazu kommen zuweilen noch nachträglich aufgelagerte fremde Massen, unter denen aber nur die Grundmoräne der Gletscher streckenweise einen von den Flachlandküsten wesentlich verschiedenen Typus bedingt.

b. Beziehungen der Küstenlinien zur Plastik der Kontinente.

§ 136. So wichtig das Vertikalprofil als Gestaltungsmoment ist, kann es doch als Einteilungsprinzip nicht unmittelbar verwendet werden. Es ist gewissermassen der Ausdruck einer bedeutsamen Charaktereigenschaft der Küsten. Ein gewisser Formcharakter kann auf eine längere Strecke konstant bleiben oder sich ändern, und insofern könnte man von einer kontinuierlichen oder unterbrochenen Steil- oder Flachküste reden. Aber die vertikale Komponente steht hinsichtlich ihres Wertes in der zweiten Ordnung. Denn die Küsten sind vor allem horizontale Linien, weil in solchen Meer und Land aneinander grenzen. Es gilt daher, diese Linien nach gewissen Gesichtspunkten zu vergleichen, um sie in Kategorien zusammenzustellen. Das Vertikalprofil ist nur einer von diesen Gesichtspunkten. Er steht an Wert hinter demjenigen zurück, welcher die Beziehungen der Küsten zu den Hauptzügen in der Plastik der Festlandsmassen, denen sie als äussere Umgrenzung dienen, betrifft, also vor allem zu den zunächst gelegenen grossen Gebirgen und Bodenschwellen. Gehen wir rein morphographisch vor, so lassen sich unterscheiden:

1) Längsküsten (oder longitudinale Küsten). — Sie sind der Richtung des zunächst gelegenen Gebirges parallel, daher auf solche Erdräume beschränkt, wo längsgestreckte Gebirge

von klar erkennbarer Richtung vorhanden sind. Hierher gehört die Westküste von Nord- und Südamerika, die Westküste von Skandinavien, die Westküste der Balkanhalbinsel, die Mediterranküste des nordwestlichen Afrika, die Südwestküste des eranischen Hochlandes, die Ostküste Asiens, von der Mündung des Amur bis Korea (jedoch mit Unterbrechungen), die Westküste Hinterindiens und viele andere. In Hinsicht auf praktische Bedeutung kann man alle diese als Absperrungsküsten bezeichnen. Denn in jedem der genannten Fälle ist das Binnenland gegen die Küste durch die ihr parallelen Gebirge verschlossen. Die hierher gehörigen Küsten sind in der Regel einförmig und arm an Einbuchtungen und Häfen. Wo sich ausnahmsweise, wie bei den meisten Fjordküsten, eine besonders reiche Einzelgliederung findet, ist sie von geringem Werte. Um so wichtiger ist die Einbuchtung, wenn sie den Gebirgswall ganz durchsetzt, wie es bei dem Golfe von Korinth der Fall ist, und hohe Bedeutung können die wenigen guten Hafenplätze in einförmigen Küstenstrecken haben, wenn ein Hinterland von ihnen erreichbar ist, wie das Beispiel von San Francisco zeigt. Häufiger finden sich Unterbrechungen der Längsküsten vermittelst der Auflösung des Gebirges in Inseln, wovon der Java-Inselbogen das schönste und grösste Beispiel bietet. Auch kann der gegenwärtige Meeresstand eine Inselbegleitung verursachen, wie in Dalmatien und Norwegen. Grosse Ströme fehlen gänzlich, und wo solche von mittlerer Grösse vorhanden sind, dienen sie dem Verkehre entweder gar nicht oder in beschränktem Masse, weil sie Gebirgsbarrieren quer zu durchbrechen haben.

Der longitudinale Verlauf der Küstenlinien kann auch im kleinen oft erkannt werden, und er behält dann seinen Charakter. Behufs bessern Verständnisses ist jedoch noch auf einen Umstand Gewicht zu legen, der nur durch eingehende Beobachtung festzustellen ist; ob nämlich die Küste nicht nur der Gebirgsrichtung, sondern auch dem Schichtenstreichen parallel ist oder dasselbe unter einem Winkel durchschneidet. Es ist dabei besonders auf das Streichen des ältern Grundgebirges zu achten. Der Parallelismus ist die Regel; aber von um so grösserm Interesse ist die Ausnahme, wie sie sich beispielsweise an der Nordküste von Spanien, im südlichen Oregon, an der Westküste von Centralamerika und an der Insel Euboea findet. In solchen Fällen wird die Richtung der Küsten, ebenso wie die der Gebirge, in der Regel durch Brüche bestimmt sein, welche

quer gegen das Schichtenstreichen verlaufen, ein Verhältnis, welches auch für eine gewisse Klasse von Gebirgen überhaupt charakteristisch ist.

2) Querküsten und Diagonalküsten (transversale Küsten). — Bei diesen verläuft die Küste in rechtem oder spitzem Winkel zu den Richtungen der Gebirge. Letztere enden also einzeln gegen die Küste. Beispiele sind häufig, besonders in Europa, wo die Ostküste der Balkanhalbinsel von der Donaumündung bis zum südlichen Griechenland, die Westküste der iberischen Halbinsel und die Westküsten von der Bretagne bis zum nördlichen Schottland hierher gehören. Die Westküste Kleinasiens, die Küsten des südlichen China, sowie diejenigen der Inseln Kiuschiu und Schikoku in Japan, vertreten diese Form in Asien, die Westküste von Marokko in Afrika. Dies sind wahre Aufschliessungsküsten, im Gegensatze zu der durch longitudinalen Verlauf verursachten Absperrung. Sieht man von vereinzelten Beispielen eines ziemlich geradlinigen Verlaufes ab, unter denen die transversal gegen die Gebirgsrichtungen der iberischen Halbinsel verlaufende Küste von Portugal das auffälligste ist, so findet man fast immer, dass die Gebirgsenden in buchten- und hafenreichen, oft von Inseln besetzten Vorsprüngen in das Meer hinausragen, während dieses zwischen ihnen tief eingreift und sich dort mit Flussmündungen, Thälern und breiten Flachboden berührt, welche leichten Zugang in das Innere der Länder gewähren. Nirgends öffnen sich diese Eingangspforten nach dem Innern vollkommener, als an der Westküste Grossbritanniens. Als Beispiel des Kontrastes gegen die abschliessende Wirkung longitudinaler Küsten kann die leichte Zugänglichkeit der Balkanhalbinsel von der Ostseite, ihre Absperrung von der Westseite angeführt werden.

Verschiedene Typen von Transversalküsten lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten, z. B. nach der weitern oder engern Stellung der Gebirge, unterscheiden. Für den erstern Typus kann neben der Westküste Grossbritanniens die hinterindische Küste, etwa von Akyab bis Saigon, angeführt werden, für den zweiten die Ostküste des südlichen China, wo, trotz der grossen Zahl an ihr mündender schiffbarer Ströme, doch die enge Stellung der an der Küste auslaufenden Gebirgsglieder den Grad der Zugänglichkeit erheblich einschränkt.

3) Beckenrandküsten. — Während Longitudinalküsten in der grossen Mehrzahl der Fälle bogenförmige Faltungsgebirge

an deren konvexen Aussenseiten begleiten, und Transversalküsten durch deren Querenden bezeichnet sein können, lassen die Küsten, welche auf der Innenseite der Faltungsgebirge sich erstrecken, hinsichtlich ihrer Richtung keine bestimmte Beziehung zu diesen erkennen. Durch die Lage sind sie ihnen eng verbunden, aber in der Gestalt bilden sie einen Uebergang zur nächsten Abteilung. Die Westküste von Italien giebt den Typus. Andere Beispiele liefern die Westküsten von Kamtschatka, Japan, Formosa, Luzon; sie sind selten, wie an der Ostseite von Neuseeland, den offenen Oceanen zugewendet. Das Gemeinsame an diesen Küsten ist, dass sie zwar im Gesamtverlaufe eine nahe Beziehung zu einem grossen Faltungsgebirge haben, im einzelnen aber viele Besonderheit der Gestaltung darbieten, welche mit den Beckenbildungen auf den Innenseiten solcher Gebirge zusammenhängen. Sie stehen von Hause aus an Zugänglichkeit hinter den Querküsten zurück, übertreffen aber in derselben Beziehung beträchtlich die Längsküsten. Es fehlen in der Regel grosse, tief eingeschnittene Buchten und weit hervortretende Halbinseln; dagegen sind flache Baien und stumpfe Vorsprünge häufig vorhanden. Strommündungen, vulkanische Bildungen, örtliche Einbrüche und andere sekundär gestaltende Momente können allerdings Aenderungen herbeiführen, welche dann hohe praktische Wichtigkeit erlangen, aber den allgemeinen Charakter nicht aufheben.

4) Neutrale Hochküsten oder Schollenküsten. — Während bei den genannten Kategorien eine Beziehung der allgemeinen Küstenlinie zu bestimmt ausgesprochenen grossen Gebirgen erkennbar ist, gilt dies nicht für die beiden noch zu betrachtenden Klassen. Es giebt ausgedehnte Kontinentalgebiete, welche der Bodenschwellen zwar nicht ermangeln, aber scharf gezeichneter Gebirge entbehren. Haben sie Felsbau, so besitzen sie in der Regel den Charakter von Tafelländern und fallen steil nach dem Meere oder nach einem schmalen flachen Küstenstriche ab. In solchen Fällen lassen sich die Küstenlinien in keine sichere Beziehung zu der Kontinentalstruktur setzen, wenn auch in vielen Fällen eine gewisse Beziehung zu dem Grundbaue mit grosser Wahrscheinlichkeit vorhanden ist. In Hinsicht auf das äussere Relief haben sie weder eine longitudinale, noch eine transversale, sondern durchaus eine neutrale Richtung. Sie sind in der Regel einfach gestaltet, schwach gebogen oder auch gerade gerichtet, und nicht selten stossen sie zu zweien unter

stumpfen bis nahezu rechten Winkeln aneinander. Entsprechend dem steilen Abfalle des Landes, senkt sich auch der Meeresboden gewöhnlich schnell herab. Hinsichtlich des Vertikalprofils sind Strandküsten mit unmittelbar daraus ansteigendem oder weiter ab gelegenem Steilrande vorherrschend. Die Schollenküsten sind arm an Einbuchtungen, Vorsprüngen und Inseln, wenn sie gegen den Ocean gerichtet sind, können aber reich daran sein, wenn sie Binnenmeere begrenzen, in denen Gezeiten und Brandung eine geringe Rolle spielen.

Beispiele oceanischer Schollenküsten scheinen zu bieten: das ganze südliche Afrika, vom Golfe von Benin um das Kap über Zanzibar und Socotra nach dem südlichen Arabien hin, Ostindien, das südliche Australien, grosse Teile der Ostseite von Südamerika. In allen diesen Fällen ist das Binnenland nicht durch Mauern abgeschlossen wie bei den Längsküsten, aber doch schwer zugänglich; selbst grosse Ströme gewähren in den meisten Fällen nur unvollkommenen Zugang. Einen Uebergang zu dem binnenmeerischen Schollentypus bieten die Küsten der Normandie und das südöstliche England.

Zu den Schollenküsten der Binnenmeere gehören: die Mediterranküste Afrikas, von den Syrten bis zum Nile, die Küste von Syrien, diejenigen an der Nordseite des Schwarzen Meeres (westlich von der Krim) und an der Ostseite der iberischen Halbinsel, ferner die Schollenküsten der alten Glacialgebiete, zu denen die Umrandungen der Ostsee zum grössten Teile, die russischen Eismeergestade und der arktische Archipel von Nordamerika zu rechnen sein dürften.

5) Regionale Schwemmlandküsten. — Im Gegensatze zu den vorigen sind dies neutrale Flachküsten. Es ist selbstverständlich, dass schmale Flachlandstreifen zwischen Gebirge und Meer den Charakter der Küste unter dem in Rede stehenden Gesichtspunkte ebensowenig verwischen, wie breites Deltaland von Strömen, welche zwischen Gebirgsvorsprüngen der Transversalküsten münden. Erst wenn das Schwemmland jede erkennbare Beziehung der Küstenlinie zu der Gebirgsgliederung der Kontinente vollkommen aufhebt, giebt es mit Rücksicht auf diese zu einer besondern Kategorie von Küsten Anlass. Dies ist der Fall an den Küsten des norddeutschen Schwemmlandes, sowie desjenigen der westsibirischen Ströme und der nordchinesischen grossen Ebene. Der Charakter der hierhergehörigen Küsten kann sehr verschieden sein.

aa. Morphologische Erklärung der Beziehungen der Küstenlinien zur Plastik der Kontinente.

Zweierlei Klassen von Bewegungen liegen der allgemeinen Gestaltung der Küsten und ihren Beziehungen zu den leitenden Zügen im Relief der Kontinente zu Grunde. Die eine besteht in den Verschiebungen, welche sich teils in tangentialem, teils in vertikalem Sinne innerhalb der Erdrinde vollziehen, die andere in den Schwankungen des Meeresspiegels. Die gegenwärtigen Küstenlinien sind das Resultat des Zusammenwirkens beider. Dies gilt ebenso für die vormaligen Küstenlinien, insbesondere für die Grenzen der ausgedehnten, meist wiederholt vom Meere bedeckt gewesenen Flachländer gegen die grossen Gebirgszüge. Die Forschung ist bestrebt, die Art des Zusammenwirkens der genannten Ursachen im einzelnen Falle zu erkennen. Sie kann dieses Ziel nur langsam und fragmentarisch erreichen. Um so mehr ist darauf Bedacht zu nehmen, überall die Thatsachen zu sammeln, welche als Unterlage für Schlussfolgerungen über dieses, die kausale Erklärung der allgemeinen Umrissformen der gegenwärtigen Kontinente involvierende Problem zu dienen geeignet sind. In dem Abschnitte, welcher über den Gebirgsbau handelt, wird darauf näher eingegangen werden. Hier möge eine flüchtige Hindeutung auf diejenigen tektonischen Ursachen, welche als möglich und wahrscheinlich angenommen werden können, genügen. Der Reisende thut gut, solche Beziehungen im Auge zu behalten, da sie ihn bei der Beobachtung leiten können. § 136a.

Vertikale Verschiebungen an Längsbrüchen, wahrscheinlich meist von Ueberschiebung gegen den gesunkenen Teil begleitet, dürfen als die allgemeinste Ursache der Beziehungen der Längsküsten zum Kontinentalbaue betrachtet werden, besonders wo hohe Kettengebirge durch eine Küste dieser Art vom tiefen Meere getrennt werden, wie an den Ostseiten von Japan, Korea und Formosa, an der West- und Südseite des durch Sumatra und Java ziehenden Gebirgsbogens oder an der Westseite des nördlichen und südlichen Amerika. Mässige Schwankung des Meeresspiegels würde an dem Wesen dieses Verhältnisses nichts ändern. Wie in den genannten Fällen, hat auch in anderen, wo das Meer in einzelnen Teilen eine geringere Tiefe hat oder seine Stelle durch Schwemmland eingenommen ist (eranischer Bogen, dinarischer Bogen mit Kreta und Cypern, Himalaya) eine Versenkung an der äussern Seite des Gebirges stattgefunden. Eine Grundlage zu Schlussfolgerungen über das Verhältnis der durch Versenkung der

Beobachtung entrückten Teile vermag nur das sorgfältige Studium von Querprofilen der betreffenden Gebirge zu liefern.

Vertikale Verschiebungen an Querbrüchen scheinen den transversalen Küsten nicht in der Allgemeinheit zu Grunde zu liegen, wie es betreffs des Verhältnisses der Längsverschiebungen zu Längsküsten angenommen werden darf. Ein Gebirge kann in seinem Streichen niedriger werden, sich infolge von Schwankungen des Meeresspiegels unter diesen herabsenken und durch die Brandungswelle seiner Gipfel und Kämme zum Teile beraubt werden, ohne dass dem Verschwinden ein Bruch zu Grunde liegt. Es wird dann in der Regel seewärts in Inselreihen fortsetzen. Wo letztere fehlen und ein Gebirge durch die Küste so vollkommen abgeschnitten wird, dass tiefer Meeresboden in seiner Fortsetzung liegt, ist das Absinken eines Teiles entlang einem Querbruche unabweisbar; so am Ostende des Balkans gegen das Schwarze Meer, in der Lücke zwischen Kaukasus und Kopet dagh, am Westvorsprunge des Atlas, an vielen Festlands- und Inselgebirgen des ägäischen Meeres und in zahlreichen anderen Fällen.

Beckenversenkungen am Innenrande von Gebirgsbogen werden in der Regel den Beckenrandküsten zu Grunde liegen. Der Innenrand der Alpen gegen die Poebene giebt das beste Beispiel einer alten, durch Versenkung dieser Art entstandenen Küstenlinie; an der Westseite der Apenninenhalbinsel sind die Verschiebungen, welche die Gestalt der gegenwärtig bestehenden Küstenlinie veranlasst haben, eingehend studiert worden.

Die neutralen Hochküsten verdanken Schollenbrüchen häufig ihre Entstehung. Die durch sie abgegrenzten Kontinentalräume zeichnen sich ausnahmslos dadurch aus, dass die jüngeren Sedimentformationen, in manchen Fällen bis hinauf zu denen des paläozoischen Zeitalters, einem aus gefalteten alten Formationen bestehenden Grundgerüste horizontal aufgelagert sind und dadurch den Tafellandcharakter bedingen. Dieselben haben eine Zusammenfaltung zu Gebirgen nicht erfahren, sind aber häufig entlang ausgedehnten Linien gebrochen und verschoben. Brüche ähnlicher Art, aber von grösserm Ausmasse, liegen den einfachen Küstenformen vielfach zu Grunde. Sie haben in ihrem Verlaufe vielleicht eine Beziehung zu dem Baue des Grundgebirges, und es würde von Interesse sein, dies in einzelnen Fällen festzustellen. Es ist jedoch für diese und die vorgenannten Kategorien gleichmässig zu berücksichtigen, dass der Küstenrand selten dem Bruchrande selbst entsprechen wird, da er durch die Brandungs-

wirkung erheblich verschoben worden sein kann. Die Existenz der Brüche ergiebt sich auch hier aus dem Studium der Struktur des Festlandes. Wo sich Staffelbrüche vom Innern her gegen die Küste verfolgen lassen, werden sie mit Wahrscheinlichkeit in dieser fortsetzen.

Die gleiche Ursache ist wohl nur mit grosser Beschränkung unter die Vorgänge aufzunehmen, welche der Bildung der Schollenküsten der Binnenmeere der Glacialgebiete zu Grunde liegen. Dort kommen die Schwankungen des Meeresspiegels und das Eingreifen desselben in unruhig gestaltetes Land, wie es scheint, vorwaltend zur Geltung.

In den nachfolgenden Betrachtungen wird sich Gelegenheit bieten, auf die in einzelnen Fällen zu Grunde liegenden Vorgänge näher einzugehen.

c. Einzelgliederung der Küsten.

§ 137. Als ein Vergleichungsmoment zweiter Ordnung wurde im vorhergehenden das Verhältnis der Einzelgliederung der Küsten zu den sekundären Elementen des Bodenreliefs erwähnt, d. h. zu der Skulptur der Gebirge und den Unebenheiten des Bodens überhaupt. Sie spricht sich in dem Vorhandensein von Buchten und Vorsprüngen verschiedener Gestalt, in der Begleitung durch Inseln, Klippen und Flachgründe, ebenso wie in geradlinigem Verlaufe oder Zusammensetzung aus bogenförmigen Strecken aus. Die Küstenlinie stellt die Horizontalprojektion des Vertikalreliefs in der dem Meeresstande entsprechenden Niveaufläche dar. Dennoch entspricht sie in den seltensten Fällen einer ursprünglichen Isohypse. Eine solche würde meistenteils in einem etwas höhern oder tiefern Niveau ganz andere Formen haben. Gleichviel ob die jetzige Küstenlinie eine Episode in einer positiven oder einer negativen Strandverschiebung sei, bringen die Meeresarbeiten, deren Schauplatz sie ist, sofort Aenderungen, oft von beträchtlicher Art, hervor. Die Brandungswelle greift das Gestein an, das weichere mehr als das härtere; die Flüsse setzen Sedimente ab; Strömungen und Wellen wirken verteilend. Dadurch entstehen verschiedene Formen. Eine vollständige Klassifikation derselben kann noch kaum versucht werden, da noch nicht hinreichende Beobachtungen vorliegen. Doch lassen sich aus der grossen Mannigfaltigkeit einige charakteristische Typen herausheben. Als Einteilungsgrund für dieselben soll der Umstand benutzt werden, ob das Eingreifen des Meeres in die Hohlformen des Festlandes

überwiegt, oder ob Sedimentablagerungen, gleichviel ob Flüsse oder Strömungen die bewegende Kraft seien, für den Charakter bestimmend sind. Es dürfte durch solchen Versuch dem Reisenden nicht nur ein Anhalt zu Beobachtungen in dem ihm vorliegenden Einzelfalle gegeben sein; er wird auch kleinere Unterschiede innerhalb der hier unter einem Typus vereinigten Formen wahrnehmen und neue Typen hervorzuheben vermögen.

aa. Typen, welche auf dem Eingreifen des Meeres in die Thäler beruhen.

§ 138. Thalrinnen sind durch das fliessende Wasser der Festländer ausgewaschen, zum Teile auch durch Eis erweitert und vertieft worden. Das letztere vermochte ausserdem durch Ausräumung von altem Zersetzungsboden und Korrasion Becken zu schaffen. Solche Hohlformen vermag das Meer nicht hervorzubringen. Wenn sein Niveau an einer Küste ansteigt und die Brandungswelle ungehindert wirken kann, wird das Gestein zwar in verschiedenem Masse abradiert (§ 161), und es können an Stelle des weichern Buchten zwischen Riegeln des härtern gebildet werden. Aber die schief ansteigende Abrasionsfläche vermindert landeinwärts die Kraft der Wellen, sodass diese selbst bei rechtwinkligem Andrange nur konkave Buchten, niemals aber in Windungen tief eindringende und sich verzweigende Meeresarme hervorbringen können. Wo solche sich finden, liegt daher, mit Ausnahme der seltenen Fälle, wo das Meer eine grabenartige Versenkung ausfüllt, unter allen Umständen das Eingreifen desselben in einen durch fliessendes Wasser und andere festländische Kräfte gebildeten Kanal vor. Dieser Vorgang vollzieht sich allmählich und ist in der Regel von anderen Vorgängen begleitet, welche mit dem Meere um die Ausfüllung des Raumes in Wettstreit treten. Der Fluss schiebt seine Sedimente von den innersten Teilen vor; die Bäche der Seitengehänge häufen sie an deren Fuss an; der Boden der Rinne wird erhöht. Gleichzeitig werden an der Stelle der Ausmündung die von den Strömungen fortgeführten Abrasionsprodukte aufgehäuft. Die Typen unterscheiden sich nun teils nach dem Grade, in welchem diese Gegenwirkung stattgefunden hat, teils nach dem tektonischen Charakter und petrographischen Baue des Festlandes und nach der Gestalt der Rinnen.

§ 139. 1) Fjordküsten. — Fjorde sind weit in das Innere von Gebirgen eingreifende, nach oben sich verzweigende, schmale

und tiefe Meeresbuchten. Nimmt man das Meer hinweg, so erhält man Thalsysteme. Querverbindungen zwischen zwei Fjorden bezeichnen die wasserbedeckten Einsattlungen der trennenden Rücken; Fjordinseln sind wesentlich durch Ueberfluten vieler Passübergänge losgelöst. Der Boden eines Fjords hat jedoch nur selten die Gestalt einer Thalrinne, indem er gewöhnlich in der Gegend des Ausganges zu einer mehr oder weniger hohen Schwelle ansteigt. Typische Fjordküsten sind fast ausnahmslos besondere Ausbildungsformen von Längsküsten. Daher ist beinahe in allen Fällen das Querthal vorherrschend, das Längsthal diesem untergeordnet. Wären die Kette der Tauern und die Oetzthaler Gruppe bis zur Isohypse von 1800 m in das Meer versenkt, ohne dass während der Versenkung Abrasion stattfinden könnte, so würden ihre Flanken Längsküsten sein; ihre Thalsysteme würden vollkommenen Fjordcharakter darbieten; nur würden den Ausgängen der Thäler die Bodenschwellen fehlen. Wo Längsthäler die primäre Form sind, wie an der West- und Ostküste von Schottland, ist der Fjordtypus nicht rein, sondern geht in den Riastypus über. Wie an einer andern Stelle (§ 113) als die wahrscheinlichste Erklärung der Fjordbildung ausgeführt wurde, ragten die Fjordgebirge zur Zeit der Thalausschürfung so hoch auf, dass die Sohlen der Thäler höher lagen als das Meer; die Versenkung geschah unter Verhinderung der Abrasion durch Gletscher in den Thälern und durch Packeismassen an den Küsten; dieselbe vermochte so wenig stattzufinden, wie heute an den eisumlagerten Küstenstrecken des östlichen Grönland. Eine Ausfüllung der Thäler mit Schutt konnte nicht geschehen, weil dieser auf dem Eise in das Meer getragen wurde. An der Stelle des Kalbens setzte sich ein Teil desselben ab und begann die Bodenschwelle zu bilden. Als mit dem Schwinden des Eises die Abrasion zu wirken anfing, wurden durch Anhäufen der Zerstörungsprodukte mittelst der Strömungen die Bodenschwellen der Ausgänge erhöht.

Fjorde sind fast stets in sehr festem Gesteine eingeschnitten. Ihre Verbreitung beschränkt sich auf früher stark vergletschert gewesene Gebirge und zwar auf deren vom Meere bespülte Wetterseite. Einige sind später landfest geworden (s. Fjordseen S. 263). Die Untersuchung der Fjorde hat zunächst morphographisch zu geschehen. Die Seekarten zeigen ihre Gestalt in der Isohypse der jetzigen Meeresfläche; es sind Längsprofile des Bodens vom Anfange bis über den Ausgang hinweg, sowie Quer-

schnitte der gesamten Felströge bis zu den überragenden Höhen hinauf anzufertigen. Von Wert wäre es, die Beschaffenheit der Bodenschwellen am Ausgange der Fjorde genau festzusetzen, da von Anhängern extremer Eiserosion die Vermutung ausgesprochen worden ist, dass sie durch festes Gestein gebildet werden, was mit der hier auseinandergesetzten Ansicht von der Entstehung der Fjorde im Widerspruche stehen und eine erheblich abweichende Erklärung bedingen würde. Das Problem würde sich seiner Lösung näherführen lassen, wenn es gelänge, eine Gegend ausfindig zu machen, in welcher die Bodenschwellen nicht nur trockengelegt, sondern auch von dem Abflusse der in Becken zurückgebliebenen Fjordseen durchschnitten wären. Von den Eiswirkungen an den Wänden der Fjorde ist früher (in § 113) die Rede gewesen; die an ihnen vorkommenden Strandterrassen sind unten (§ 160) behandelt. In besonderer Weise ist die Aufmerksamkeit auf den Zusammenhang der die Gestalt der einzelnen Fjordglieder bestimmenden Richtungslinien mit der innern Gebirgsstruktur zu lenken, da Kjerulf für Norwegen sehr nahe Beziehungen zwischen beiden erwiesen hat. Neben dem Schichtenstreichen kommen hauptsächlich die Kluft- und Verwerfungslinien in Betracht. Da die Fjorde scharfgeschnittene Gestalten haben, ist bei ihnen das Verhältnis besser zu beobachten als dort, wo die Seitenwände abgetragen sind. Sie können daher lehrreiche Beispiele für den an einer andern Stelle (§ 95) behandelten Einfluss der Kluftrichtung auf die Gestalt der Erosionsthäler geben.

§ 140. 2) Dalmatischer Typus. — Wo an einer Längsküste eine positive Strandverschiebung das Meer in die Furchen eines zonalen Faltungsgebirges eintreten lässt, wird es dort, wo die Brandungswelle ihre Arbeit verrichten kann, die Kämme in der Reihenfolge, in welcher es an sie herantritt, abschleifen. Ist jedoch die Brandungswirkung so beschränkt wie im Adriatischen Meere, so findet keine Abrasion statt; das Meer füllt die Thäler aus und lässt die trennenden Rücken als Landzungen und Inseln hervorragen. An der dalmatischen Küste ist dieser durch den Parallelismus seiner Glieder ausgezeichnete, von dem der Fjorde nach Form und Entstehung verschiedene Typus am vollkommensten vertreten. Er findet sich, gleichsam rudimentär, an anderen Längsküsten, wo Hindernisse verschiedener Art die Brandungswirkung beschränkten; so bei San Francisco, wo das Meer hoch über dem Boden des ehemaligen Flusses durch ein

Querthal in der Küstenkette ein grosses inneres Längsthal erreicht und, gerade wie bei Cattaro, durch das Querthal einer zweiten Kette sich bis in ein entfernteres Längsthal erstreckt. Da auch Korallenbauten die Brandung abhalten, sollten in ihrem Schutze ähnliche Formen entstehen.

§ 141. 3) Riasküsten. — An transversalen Küsten treten die Enden der Gebirgszüge oft in scharfer Umgrenzung in das Meer hinaus, während dieses zwischen denselben in die unteren Strecken der die Gebirge trennenden Buchten und Thäler eingreift. Es herrschen ausserordentlich unruhige Linien, welche in der Regel durch vorgelagerte Inseln verstärkt werden. Sie sind das Resultat positiver Strandlinienverschiebung. Da die Querenden von Gebirgen meist einen erheblichen Gesteinswechsel zeigen, so arbeitet die Brandungswelle Buchten heraus. In den Flussthälern, welche nach und nach vom Meere überflutet werden, dringt dieselbe aufwärts, schnell an Kraft verlierend. Es sind daher verschiedene Gestaltungsmomente vorhanden: 1) das ursprüngliche, durch tektonische Bewegungen und die auf dem Festlande thätigen Kräfte gestaltete Relief von Berg und Thal; 2) die an Küsten verschiedener Art vorkommenden, hier aber zahlreicher auftretenden Formen konkaver Buchten zwischen Felsvorsprüngen, welche fast ausschliesslich von der Brandungswirkung stammen; 3) die tief eingreifenden und sich verzweigenden Meeresbuchten, welche durch die Erosion fliessender Gewässer entstanden sind und von dem ansteigenden Meere erfüllt wurden; 4) die Erweiterung und Umgestaltung der Ausgangspforten dieser Buchten durch Brandung und Strömung; 5) die losgetrennten Inseln, welche, ein Produkt aller dieser Faktoren, von der Brandung am stärksten bearbeitet werden; dazu kommt, als wesentlichster Unterschied von den Fjorden, 6) die Vorschiebung des Schwemmlandes dem eindringenden Meere entgegen, daher die Ausfüllung des versenkten Flussthales mit Sedimenten und die Gestaltung des Bodens nach den Gesetzen der vereinigten Arbeit von Fluss und Meer und der verteilenden Wirkung der Meeresströmungen.

Die Riasküsten unterscheiden sich von den Fjordküsten nicht nur dadurch, dass sie wesentlich an Transversalküsten vorkommen, sondern auch insbesondere durch den Umstand, dass die Abrasionswirkung des vordringenden Meeres ebensowenig gehindert war, wie die Sedimentablagerung durch die Ströme. Da die Erosion des fliessenden Wassers vor allem die weicheren

Gesteine angreift und die Brandung ebenso verfährt, wirken beide Agentien gemeinsam auf das Herauspräparieren der Rücken festern Gesteines und deren Trennung durch Furchen. Es kommt darauf an, den Anteil beider Agentien an der Ausgestaltung zu sondern. Ein anderer Unterschied von den Fjorden besteht darin, dass die Einwirkung der Agentien der Verwitterung, des spülenden und fliessenden Wassers an den über das Meer hervorragenden Teilen niemals gehindert war. Daher finden sich die gewöhnlichen Formen von Berg- und Hügelland, wenn auch die Abrasion an Vorsprüngen und Inseln Felsabstürze schafft und ein steiles Gefälle der kleinen Gewässer hervorruft.

Obgleich diese Gestaltungen an der galizisch-asturischen Küste nur unvollkommen entwickelt sind, haben doch nur dort die zu ihnen gehörigen charakteristischen Einbuchtungen des Meeres eine Klassenbezeichnung *(Rias)* erhalten; es mag daher dieselbe auf die vollkommeneren Ausbildungsformen anderer Gegenden übertragen werden. Der Riastypus ist bezeichnend für die Küsten der Bretagne, des südwestlichen Irland und der Gebirge an der Westseite von England. In Schottland geht er in den Fjordtypus über. Die ausgezeichnetste Entwicklung des Riastypus findet sich an der Küste des südlichen China. Hier sind in einer Erstreckung von beinahe zehn Breitengraden die von Westsüdwest nach Ostnordost streichenden, sehr zahlreichen, einander parallelen, aber enggestellten Gebirgszüge durch die im Bogen verlaufende Küste diagonal oder quer abgeschnitten. Jeder von ihnen endet nach dem Meere in Vorsprüngen und Inseln. Zwischen ihnen kommen aus den parallel angeordneten Thälern zahlreiche grosse und kleine Flüsse heraus. Das Meer steht erheblich über der Sohle jeder einzelnen Thalfurche und dringt weit in dieselben und ihre Verzweigungen ein, bis es sich in jedem Arme mit den vorgeschobenen Alluvialböden begegnet. Auch in den vom Meere eingenommenen Teilen der Thalfurchen sind diese hoch mit Sedimenten aufgefüllt. Da die Strömungen gering sind und nach Jahreszeiten wechseln, sind Schlammbänke auszeichnend, welche zur Ebbezeit trocken liegen, aber von der Flut vollständig bedeckt werden und unmittelbar an die Felsküsten heranreichen. Der geringste Rückzug des Meeres würde die Felsküsten mit Alluvialland umgürten. Die Brauchbarkeit der in endloser Zahl vorhandenen Buchten für die Schiffahrt wird dadurch beeinträchtigt. Die guten Häfen sind gering an Zahl und erleiden Aenderungen durch Ver-

schwemmung. — Aehnlich scheinen sich die Westküsten von Korea und Japan zu verhalten. Ein ausgezeichnetes Beispiel giebt die Westküste von Kleinasien.

Unter allen Küstenformen (mit Ausnahme der Fjorde) sind diejenigen vom Riastypus am reichsten an langgestreckten Einbuchtungen. Die Zahl guter Häfen steht jedoch nicht im Einklange damit. Die Ursachen sind klar. Am dauerndsten brauchbar sind solche Buchten, welche, wie diejenigen von Nagasaki und Kagoschima in Japan und wie die Häfen von Rio und Sydney, weder grösseren Flüssen zur Mündung dienen, noch von sedimentbringenden Strömungen erreicht werden.

4) Limantypus. — Wenn man in der halben Höhe des Abfalles eines binnenländischen, von Flüssen durchzogenen Tafellandes eine Isohypse konstruiert, so umzieht sie den Abfall in der Regel in sehr einfacher Linie und sendet lange, von breitem Ausgange bald sich zu schmalen Streifen verjüngende Ausläufer weit in das Tafelland hinein. Steigt das Meer bis zu einer solchen Isohypse allmählich an, so nehmen seine Buchten die Gestalt derselben nicht an: denn die Flüsse schieben ihm beständig ihre Sedimente entgegen und füllen den Kanal von oben nach unten aus. Dies ist das Bild der Limanmündungen an der Nordwestküste des Schwarzen Meeres. Das letztere sendet von seiner einfach geformten Grenzlinie jedem einmündenden Flusse einen von niedrigen Steilufern eingeschlossenen, sich verjüngenden Golf entgegen, welcher sein oberes Ende an dem Alluviallande des Flusses erreicht. Das Meer nimmt den untern, erweiterten Teil der Rinne ein, welche sich der Fluss früher gegraben hatte. Da Ebbe und Flut hier keine Wirkung haben, so steht bei unveränderlichem Meeresstande die Ausfüllung der Limane durch Alluvien im Laufe der Zeit zu erwarten. § 142.

Man kann die Limane als ebenso bezeichnend für eine ganze Kategorie von Küsten ansehen, welche mit der nordpontischen die Besonderheit gemeinsam haben, dass sie Tafelland oder Schollenland gegen das Meer abgrenzen und, indem sie eine Beziehung zur Plastik nicht erkennen lassen, vom allgemeinen Gesichtspunkte aus oben (S. 295) als neutral bezeichnet wurden. Sie sind in der Regel frei von Inseln oder arm daran, und ihr einfacher Verlauf gestattet den Strömungen wenig gehinderte Sedimentversetzung. Wo diese Küsten an einem Meere mit Gezeiten liegen, trägt die Ausräumung durch den Ebbestrom dazu bei, die Flussmündungen offen und weit zu

halten, die Begrenzungslinien auszuglätten und der Bucht eine Zuspitzung nach oben zu geben. Es gehören hierher viele der sogenannten „trompetenförmigen Flussmündungen". Playfair bezeichnete sie als negative Deltas. An den Tafellandküsten des südöstlichen England und der Normandie finden sie sich an allen durch ihre Lage vor der Bildung eines Abschlusses durch Küstenwälle geschützten Flussmündungen; so an der englischen Südküste, und zwar an der Ostseite der Landvorsprünge und im Schutze der Insel Wight. Ein ähnliches Verhalten dürfte sich in anderen Fällen nachweisen lassen. Auch die Ostküste des südlichen England mit der Themsemündung ist hierher zu rechnen. Noch ausgezeichneter ist der Typus an den Küsten der Chesapeakebai und Delawarebai vertreten. Beachtung hinsichtlich derselben Gesichtspunkte verdienen die Flussmündungen von Kamerun, Gabun und Ogowe.

Weisen schon die genannten Beispiele auf die Möglichkeit der Sonderung einer grössern Zahl von Typen hin, so möge im Anschlusse an dieselben der sich noch weiter von den Formen der Limane entfernenden Typen gedacht werden, welche auf dem Eindringen des Meeres in die Hohlformen des von den grossen Eisströmen der Glacialzeit gepflügten Bodens flacher Schollenländer bei aufgehobener oder schwacher Brandungswirkung beruhen. Dazu gehört der schwedisch-finnische Typus oder die Skjärenküste, welche unter allen Küstenformen die zierlichste Gliederung und Inselauflösung besitzt. Unter den Motiven der letztern herrscht der Rundhöcker (§§ 238, 249) vor, dessen übermässig häufige Wiederkehr auch, allerdings neben manchen anderen Formen der Unebenheiten, die Gliederung der Küste selbst zu bestimmen scheint. Ferner ist der cimbrische Typus zu nennen, welcher in dem Eindringen des Wassers von Binnenmeeren in langgezogene, zum Teile netzartig verzweigte, vermutlich mit dem Glacialphänomen im Zusammenhange stehende Hohlformen flachbodiger Länder besteht. Es wird dadurch eine Auflösung in regellos gestaltete, grosse und kleine Inseln und eine ebenso unregelmässige Gestalt der Festlandsumrisse verursacht. Die Ostseite von Dänemark mit den vorliegenden Inseln und die Nordküste von Amerika mit dem zugehörigen arktischen Archipel geben Beispiele hiervon. In beiden Fällen würden die Formen wesentlich andere sein, wenn die betreffenden Meere bedeutendere Tiden hätten und einer starken Brandungswirkung fähig wären.

bb. Typen, welche auf dem Ansatze von Schwemmland an der Küste beruhen.

§ 143. Während bei den genannten Typen die durch die Agentien des Festlandes hervorgebrachte Einzelgliederung in der Gestalt der Küste, wenn auch in verschiedenem Grade, zum Ausdrucke kommt, kann dieselbe durch das Vordringen des fluviatilen Schwemmlandes in das Meer, durch den Ansatz von Zerstörungsprodukten und durch Rückzug des Meeres vollkommen verwischt werden. Auch hier lassen sich eine Reihe von Typen unterscheiden.

5) Hinterindischer Typus. — Von der Brahmaputramündung bis Cochinchina zieht eine, nur durch die vorgestreckte Halbinsel Malakka unterbrochene Querküste. Breites Flachland lagert zwischen den einzelstehenden Gebirgen und schiebt sich zwischen deren Enden so weit nach dem Meere vor, dass jene zwar noch den allgemeinen Verlauf der Küste veranlassen, in der Einzelgliederung aber nicht mehr zur Geltung kommen. Das Flachland endet meist in nach aussen konvexen, zum Teile in konkaven Küstenlinien. Wo das Gebirge, wie an der Ostküste des Golfes von Siam, häufiger an die Küste herantritt, sind an den Enden der einzelnen Flussthäler konkave Bogen zwischen den Vorsprüngen gespannt. Dies dürfte auch der Typus sein, wo an der kolumbischen Nordküste von Südamerika die Andenzüge auslaufen und wasserreiche Flüsse dazwischen ihre Sedimente vorschieben.

6) Lagunenküsten. — Wenn durch die Vermittlung von Wellenverschiebung und Küstenströmung die Zerstörungsprodukte der Abrasion oder die durch Flüsse dem Meere zugeführten Sedimente vor den Buchten und limanähnlichen Flussmündungen der Flachküsten in Gestalt von Küstendämmen abgelagert werden, oder wo sich in der Berührungszone sedimentreicher, durch die Ebbe verstärkter Süsswasserströme mit dem Meere Bänke ablagern und über das Wasser erheben, werden in der früher (§ 117) geschilderten Art Lagunen abgesondert, welche entweder Meerwasser enthalten oder brakisch werden oder eine Aussüssung erfahren oder zu Salzpfannen zusammenschrumpfen. Lehrreiche Beispiele sind: die venezianische Küste, die südfranzösische Küste westlich von den Rhonemündungen, die Küste von Guinea westlich von den Nigermündungen, die Küste von Carolina und die südbrasianische Küste bis Uruguay.

Das Phänomen nimmt vielfach verschiedene Gestalt an und wird häufig zu Beobachtungen Anlass geben.

7) Guyanatypus. — Dieser beruht auf Ansatz von flachem Schwemmlande durch Meeresströmungen und Ablenkung der Flüsse des Festlandes in Linien, welche der Küste parallel sind. Guyana bietet infolge der Masse der vom Essequibo und Amazonas dem Meere zugeführten festen Bestandteile, der Mächtigkeit und Beständigkeit der Strömung und der befestigenden Wirkung, welche die tropische Mangrovevegetation auf die Sedimente ausübt (§ 33), das grossartigste Beispiel dieser Erscheinung. In kleinem Massstabe ist es häufig zu beobachten. Es kann mit Lagunenbildung verbunden sein.

8) Patagonischer Typus. — Während bei den letzten drei Typen die Strandverschiebung nicht notwendig in Betracht kommt, ist dort, wo das Küstenland ein trockengelegter Meeresboden ist, die Annahme einer negativen Verschiebung der Strandlinie unabweisbar. Ist die Küste, wie an der Ostseite von Patagonien, transversal gerichtet, so markiert sich noch zuweilen die Gliederung von abradierten Ketten und muldenförmig zwischen ihnen eingelagerten Meeressedimenten. Man glaubt eine sehr plumpe Gestalt von Riasküsten zu sehen, deren reich ausgezackte Linien hier selbstverständlich nicht vorkommen können. Die Flussmündungen zeichnen sich nicht durch Eingreifen des Meeres aus. Eine analoge Form bietet die Westküste Nordamerikas, von Alaska bis Kap Barrow, wo jedoch schärfer geschnittene Formen und tiefere Buchten auf eine Beteiligung verschwundenen Eises bei der Bildung schliessen lassen. — Neben vielen anderen Küsten, z. B. manchen nicht vergletschert gewesenen der arktischen Regionen, ist hier an diejenigen des südöstlichen Kalabrien und anderer Teile von Italien zu erinnern.

9) Meeresgrundküsten. Ungleich dem letztgenannten Typus, wo bergige Vorsprünge die einzelnen Strecken des trockengelegten Meeresbodens trennen, bildet bei anderen der letztere ein mehr oder weniger breites kontinuierliches Vorland. Dahin gehören grosse hafenlose und fast unnahbare Strecken der Ostküste von Afrika.

10) Ausgleichsküsten. Unter dieser Bezeichnung mögen vorläufig eine Menge von Küstenstrecken zusammengefasst werden, welche keine der im vorhergehenden genannten Eigentümlichkeiten besitzen, sondern sich dadurch auszeichnen, dass

die Küste, trotz vielfacher Einzelgliederungen im Relief des Festlandes, in geraden oder leicht geschwungenen, aber ungebrochenen Linien hinzieht und weder die Flussmündungen noch die Felsgebilde sich in ihnen markieren. Es können wesentlich verschiedene Ursachen zu Grunde liegen. Denn eine Verwerfung entlang der einfach gestalteten Linie kann ebenso die Veranlassung sein, wie starke, ausgleichende Küstenströmungen, welche die von den Flüssen ihnen überlieferten Sedimente in glatter Linie hinwegnehmen und durch deren Absatz an anderen, eingebuchtet gewesenen Stellen jede Unterbrechung in der Stetigkeit verschwinden lassen. Als Beispiele mögen die Küsten von Portugal und dem südwestlichen Vorderindien dienen, ferner diejenigen der Riviera und Teile der amerikanischen Westküste. Wo der pacifische Ocean den mit Vulkanen besetzten Querabbruch der Gebirge von Guatemala und San Salvador bespült, ist die Linie fast ebenso einfach, wie dort, wo die Küste von Chile und Peru dem Gebirgsstreichen parallel gerichtet ist; und doch würde an den meisten Stellen aller genannten Länder eine Isohypse in geringer Höhe über dem Meere einen sehr wechselvollen Verlauf besitzen. An solchen Küsten gilt es ganz besonders, die Ursachen der einfachen Gestalt der Grenzlinien von Meer und Land zu ergründen.

cc. Oertliche Einflüsse auf die Einzelgliederung.

Inwieweit der Härtewechsel der Gesteine örtlich bestimmend wirken kann, ist bereits erörtert worden. Es ist klar, dass ein Gang oder Stock eines Eruptivgesteines zu der Entstehung einer Landzunge, das isolierte Vorkommen eines weichen oder lösungsfähigen Gesteines zur Ausbildung einer Bucht Anlass geben kann. Solche Einflüsse werden wichtig, wenn dadurch Ankerplätze oder Häfen an sonst zufluchtsarmen Küsten geschaffen werden. Es ist hier noch besonders auf die Modifikationen hinzuweisen, welche die vulkanische Thätigkeit und die Korallenbauten in der Einzelgliederung der Küsten hervorbringen. Beide treten als fremdartige Elemente zu den sonst vorhandenen hinzu. § 144.

Ein einzelner Vulkan kann, je nach seiner Lage im Verhältnisse zur Küste, diese unberührt lassen oder seine Aufschüttung über sie hinaus vorschieben, auch mit seinem ganzen Kegel ausserhalb ihrer Linie gestellt und nur durch Anschwemmungen mit ihr verbunden, auch ganz als Insel losgetrennt sein.

Von der Flachheit oder Tiefe des Meeres, von der Stärke der ihn angreifenden Agentien desselben und von dem Volumenverhältnisse fester Lavaströme zu lockeren Aufschüttungsmassen wird es abhängen, wieweit er im stande sein wird, die Küstengestalt auf längere Dauer zu beeinflussen. Wo sich, wie an der Ostküste von Kamtschatka und Neuseeland, die Vulkane häufen, wird dieser Einfluss ein bedeutender. Da die Tendenz der Ausbildung von Kegeln mit runder Basis vorwaltet, so entstehen Buchten, die aber durch Verschwemmung der lockeren Auswurfsmassen bald ausgefüllt werden. Ausserdem sind der vulkanischen Thätigkeit oft Einbrüche und Bewegungen des Bodens überhaupt verbunden, welche manche Formänderungen in der Umgebung hervorbringen können.

Korallenbauten, sowohl wenn sie einfache Verschalungen der Küste bilden, als wenn sie dieselbe in Gestalt von Wällen begleiten oder die vulkanischen Tuffe verfestigen, bilden einen Schutz gegen die Abrasionswirkung und feste Beckenränder für Ablagerungen, üben daher in vielfacher Hinsicht Einfluss auf die Küstengestaltung, wie in § 186 auseinandergesetzt werden soll.

d. Beziehungen von Küsten und Inseln.

§ 145. Die Beobachtungen an den Küsten der Inseln sind dieselben, wie an den Küsten der Kontinente. Doch ist auch den Beziehungen der letzteren zu den vorgelagerten Inseln Rechnung zu tragen. Dieselben sind in dem Abschnitte über die Inseln (§ 174 ff.) auseinandergesetzt. Es handelt sich besonders um die Frage, ob die Inseln die Fortsetzung der Plastik des Kontinentes bilden, oder ihr gegenüber eine selbständige Stellung haben, und wie sie sich alsdann morphologisch zu ihr verhalten.

e. Praktischer Wert der Küsten. Seehäfen.

§ 146. Wie aus mehreren vorangegangenen Bemerkungen einleuchtet, verhalten sich die Meeresküsten ausserordentlich verschieden bezüglich des praktischen Wertes, welchen sie für die menschliche Ansiedlung und den Verkehr haben. Sie sind die Linien, an welche der Seeverkehr ansetzt. Aber einerseits müssen geeignete Ansatzpunkte für diesen gegeben sein, das sind die Seehäfen, andererseits muss ein bevölkertes und ergiebiges Hinterland erreichbar sein. In einzelnen Fällen kann es geschehen, dass ein Hafenplatz ohne Hinterland wegen seiner Vorteile für die Schiffahrt höhere Bedeutung erlangt, indem

von ihm aus nahegelegene Gegenküsten oder Inseln leicht versorgt werden können, oder indem er an dem Brennpunkte von Verkehrslinien liegt, wie es bei Singapur, Colombo, Aden, St. Thomas, Syra, Malta und manchen anderen der Fall ist. Gewöhnlich aber beruht der Wert einer Küste für die Verkehrsbeziehungen ebenso in dem harmonischen Verhältnisse zwischen Zugänglichkeit zur See und Zugänglichkeit zu Lande, wie in dem Vorhandensein erreichbarer und ähnlich begünstigter Gegenküsten. Es ist daher in Beziehung auf die Landseite nicht nur auf den Grad der Besiedlungsfähigkeit und Produktionskraft des Küstenlandes selbst, sondern auch auf die Verhältnisse des Hinterlandes zu achten, inwieweit dieses durch Ströme und natürliche Verkehrswege geöffnet oder durch Gebirge, Sumpfland oder Wasserlosigkeit unzugänglich ist. Bis zu einem gewissen Grade werden jetzt diese Hindernisse durch Eisenbahnen überwunden. Der grössere Verkehr konzentriert sich dadurch mehr an gewissen Küstenpunkten, während an anderen der kleinere fortdauert. *)

Einteilung der Seehäfen.**) — Man könnte, um die Seehäfen nach Typen zu sondern, von verschiedenen Gesichtspunkten ausgehen. Hier soll nur versucht werden, gewisse Kategorien im Anschlusse an die Küstengliederung zu unterscheiden. Als Hauptbedingungen für einen guten Hafen können bezeichnet werden: Schutz vor den herrschenden Winden und den gegen die Küste rollenden hohen Wellen des Meeres, hinreichende Tiefe für Fahrzeuge bestimmter Grösse, sicherer Ankergrund, Abwesenheit von Klippen und Bänken und leichte Zufahrt. Je nach

*) Beachtenswerte Winke über die Bedeutung einzelner Küstenformen für den Seeverkehr finden sich in F. G. Hahns Abhandlung „Bemerkungen über einige Aufgaben der Verkehrsgeographie“ (Zeitschr. für wissenschaftl. Geogr., Bd. V), welche dem Verfasser während des Druckes zukam. Auch hier ist der Versuch gemacht, unter den europäischen Küstenformen einzelne Typen zu unterscheiden; als solche werden gesondert: der norwegische, der asturische, der cimbrische, der schwedische, der mediterrane, der normannische, der gasconische, der friesische, der ostpreussische, der venezianische. Dieselben sind scharf charakterisiert.

**) Eine ausführliche Einteilung der Seehäfen ist von Dr. O. Krümmel in Aussicht gestellt und wird Reisenden zum Studium besonders zu empfehlen sein. Eine vorläufige Notiz gab derselbe in Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 1883, Nr. 2. An gegenwärtiger Stelle ist eine Einteilung im Anschlusse an die vorhergehende der Küsten versucht.

den Umständen, welche sich zu dem günstigen Gesamtergebnisse vereinigen, unterscheiden wir von rein morphographischem Gesichtspunkte die folgenden Typen:

1) Buchthäfen. — Diese finden sich dort, wo die Festlandsgliederung in dem gegenwärtigen Begrenzungsniveau von Land und Meer das Eintreten des letztern in Buchten gestattet.

Fjordküsten sind am reichsten mit Buchten ausgestattet; doch ist diese Begünstigung meist von geringem, praktischem Werte, weil den Fjorden, mit wenigen Ausnahmen, ein leicht erreichbares Hinterland fehlt und ihre Verbreitung auf wenige, an Naturprodukten und Bevölkerung arme Erdregionen beschränkt ist. Fjordhäfen bilden daher zwar den in grösster Zahl vertretenen, aber keineswegs den wichtigsten Typus. Sie können als Zufluchtshäfen dienen, lassen sich als Kriegshäfen, die weniger auf ein Hinterland als auf Befestigungsfähigkeit angewiesen sind, verwenden und sind ausgezeichnete Ausgangspunkte für die Seefischerei. Wenige werden als Handelshäfen, einige als Stapelplätze und Wegestationen im Seeverkehre benutzt; doch wird gerade für diese Zwecke die Lage auf Inseln im Wege der Fjordstrassen derjenigen im Innern der Fjorde vorgezogen (Tromsö, Hammerfest, Sitka).

Von grösserer Bedeutung sind die Riashäfen. Dies ist schon aus dem Umstande ersichtlich, dass die Riasbuchten überhaupt wesentlich an Querküsten gebunden sind, welche stets die meisten Eingangspforten in das Innere der Länder darzubieten pflegen. Die geringe Zahl solcher Häfen, welche für höhere Zwecke als diejenigen der Küstenfischerei brauchbar sind, steht jedoch im Gegensatze zu der grossen Zahl der Riasbuchten. Man pflegt unter diesen einerseits solche auszuwählen, welche, trotz der Gefahr der Versandung, den Vorteil haben, dass grössere, durch ihre Schiffbarkeit oder ihre fruchtbaren Alluvialthäler den Verkehr anlockende Ströme in ihnen münden, oder solche, welche einen äusserst geringen Zufluss vom Lande erhalten, daher von dieser Seite der Versandung nicht ausgesetzt sind, und ebenso möglichst ausserhalb des Bereiches sedimentführender Meeresströmungen liegen. Man könnte danach Riasstromhäfen (Smyrna, Swatau, Fu-tschóu) und Riasbuchthäfen (Nagasaki, Ferrol, Toulon) unterscheiden. Die letzteren sind wenig veränderlich; die ersteren haben im Laufe der Geschichte, insbesondere an den Küsten von Kleinasien und Südchina, häufig ihre Bedeutung gewechselt und ihre Rolle an Nebenbuhler völlig

abgetreten. Es giebt an diesen Küsten auch zahlreiche auf den gegenseitigen Schutz von Festland und Inseln beruhende Häfen, welche bald an diesen, bald an jenen liegen. Da die Inselauflösung in den betreffenden Fällen der Riasbildung vollständig angehört, sind diese Häfen von den anderen nicht zu trennen. Man kann sie als Riasinselhäfen bezeichnen. Hierher gehören Hongkong, Macao, Tschusan.

Die den Schiffen hinreichende Zuflucht gewährenden Rias der Längsküsten können als Thalmuldenhäfen bezeichnet werden. San Francisco bietet das ausgezeichnetste Beispiel. Analog sind viele dalmatische Häfen (Cattaro, Sebenico, Novegradi, Pago, Lussin piccolo). Der Zugang durch ein Querthal in ein durch Meerwasser ausgefülltes Längsthal ist für sie bezeichnend. Hierher dürfte auch die Bucht von Rio Janeiro zu stellen sein, welche, ebenso wie Nagasaki, wenig versandenden Zufluss erhält, während ihr Ausgang vor sedimentführenden Meeresströmungen geschützt ist; vielleicht auch Sydney.

Limanhäfen sind, wie aus der vorhergehenden Darstellung (§ 142) einleuchtet, meist an den Ausgängen von Strömen gelegen. Bildet der Liman ein einfaches Dreieck, so ist er dem Wogenandrange ausgesetzt; krümmt er sich oder erweitert er sich im Innern, so findet sich Schutz davor. Philadelphia und Baltimore liegen an den äussersten Spitzen gekrümmter Limane. Auch Newyork kann hierher gerechnet werden, da es innerhalb des versenkten Mündungstrichters des Hudson liegt. An den südenglischen und normannischen Küsten finden sich zahlreiche Limanhäfen, ebenso in den Limanmündungen von Themse, Elbe und Weser; doch ist bei diesen, wie auch in vielen anderen Fällen, ein Fluthafen ausserdem weiter hinauf angelegt.

Die Baien der vulkanischen Gegenden können als ein besonderer Typus bezeichnet werden, insofern ihre Existenz nicht mit der Einzelgliederung des Gebirgsbaues zusammenhängt, sondern durch die hinzugetretenen vulkanischen Aufschüttungen bedingt wird. Ihnen verdanken die Baien von Neapel, Manila, Hakodate, Peter-Paul, Fonseca und viele andere ihre ausgezeichnete Gestalt, diejenigen von Yedo und Satsuma ihre Inselabsperrung nach aussen. Am vollkommensten stellen den vulkanischen Typus die Kraterhäfen dar, wie sie sich bei Aden, auf der Insel St. Paul, auf Barren Island und an der Ostküste von Neuseeland finden.

Nicht als eigentliche Häfen zu bezeichnen sind die einseitigen Buchten, wie man die kleinen, durch einen einzelnen Vorsprung gebildeten Unregelmässigkeiten im Verlaufe der Küsten nennen kann. In Ermanglung geschlossener Buchten sind sie aber zuweilen sehr wichtige Ankerplätze der Schiffe, und einige derartige Stellen sind durch künstlichen Dammschutz in wirkliche Häfen umgewandelt worden, wie z. B. Colombo an der Küste von Ceylon. Die offenen Reeden sind hier zu übergehen, da es sich nur um natürliche Häfen handelt.

2) Wallhäfen. — Wie der Schutz eines Hafens oftmals durch künstliche Wälle vermehrt wird, so kann er auch auf natürlichen Wällen beruhen, welche das Meer aufwirft (s. § 155), umsomehr als dieselben an derjenigen Seite aufgebaut werden, von welcher der Wellenandrang am bedeutendsten ist. Die Ursachen des Aufbaues der Wälle sind in jedem einzelnen Falle zu untersuchen. Auf Absperrung mittelst derselben beruhen die stillen Wasser der Haffe an den Ostseeküsten, der Lagunenhafen von Venedig, der Lago de los Patos bei Porto Allegre und zahlreiche andere als Häfen benutzte Baien und Lagunen. Häufig ist der Einfluss des Aufschüttens der Wälle allerdings schädlich. — Auch die von Korallen gebauten Wälle schliessen nicht selten Meeresteile in solcher Weise ab, dass diese als Häfen zu benutzen sind, wie an den Küsten von Cuba; oder sie brechen, ohne über das Meer hervorzuragen, die Brandung so vollkommen, dass von da bis zur Küste das Wasser hinreichend ruhig für das Verankern von Schiffen ist. Schliesst sich der Wall ringsum in solcher Weise, dass Einfahrtsöffnungen bleiben, so entsteht der Atollhafen. Diese Häfen bilden wichtige Schutzpunkte mitten im offenen Oceane.

3) Inselhäfen. — Obgleich an Fjordküsten und Riasküsten viele Ankerplätze durch vorgelagerte Inseln bestimmt werden, giebt doch der Inselschutz erst dann zu einem eigentümlichen und bestimmten Typus Veranlassung, wenn die Existenz von Häfen in einer Küstenstrecke allein darauf beruht. Sie erreichen hierdurch an den einförmig gestreckten Küsten von Afrika und Peru hohe Bedeutung.

4) Fluthäfen. — Wo in grossen und tiefen Strommündungen die Umsetzung von Ebbe und Flut sich hoch hinauf erstreckt, lassen sich die Seeschiffe möglichst weit aufwärts tragen bis zu einem von der Flut erreichten, für Niederlassung und Verkehr günstig gelegenen binnenländischen Platz. Die

eminente Wichtigkeit, welche viele von diesen Orten als Handelsemporien erreicht haben (London, Hamburg, Bremen, Rotterdam, Antwerpen, Nantes, Bordeaux, Calcutta, Ranggun, Bangkok, Saigon, Hanoi, Canton, Ningpo, Shanghai, Tiëntsin, New-Orleans), beruht nicht sowohl in der Bequemlichkeit und dem vollkommenen Schutze ihrer Häfen, als vielmehr darin, dass sie reichbevölkerte, fruchtbare Gebiete beherrschen und die Ansatzpunkte für bequeme binnenländische Verkehrswege zu Wasser und zu Lande sind. Sie überragen aus diesem Grunde häufig an Bedeutung die in der Nähe gelegenen Küstenhäfen anderer Kategorien, was z. B. dort ersichtlich ist, wo in der Mündung des Stromes noch ein Limanhafen besteht, wie im Falle von Elbe, Weser, Themse und Loire.

Mischtypen. Bei vielen Häfen kann die Zuweisung zu zwei Typen geschehen. Gibraltar ist ein Buchthafen, insofern die Bucht geschlossen ist, ein Wallhafen, insofern der Gibraltarfels durch einen Wall landfest geworden ist; man kann es einen Wallbuchthafen nennen. Andere Beispiele wurden bei den Riashäfen angeführt. Es liegt nahe, analoge Bezeichnungen für die Insel-, Wall- und Fluthäfen an Limanküsten anzuwenden.

B. Klimatische Eigentümlichkeiten der Küsten.

§ 147. Der Gegensatz der an den Küsten sich berührenden Elemente macht sich auch hinsichtlich aller klimatischen Faktoren geltend. Land und Meer werden durch die auf beide unter gleichem Winkel einfallenden Sonnenstrahlen in verschiedenem Grade erwärmt und geben die erhaltene Wärme in verschiedenem Masse an die Atmosphäre und den Weltraum ab. Die von den Oberflächenteilen des Oceans an jeder Stelle gebundene Wärmemenge scheint, abgesehen von der Beeinflussung durch Wolkenschichten, wesentlich von dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen abzuhängen; Trübung des Wassers und Salzgehalt sind vielleicht nicht ganz ohne Bedeutung. Ein Teil der Wärmestrahlen wird reflektiert, ein anderer in den Wasserdämpfen gebunden, mit welchen sich die Atmosphäre sättigt; und zwar ist dieser Teil in warmen Regionen viel grösser als in kalten, weil warme Luft eine grössere Menge von Wasserdampf aufnehmen kann als kalte. Auf den Landflächen hängt die Wärmeaufnahme der Oberflächenteile nicht allein von der geographischen Breite, sondern noch von einer Reihe anderer Faktoren (Wasserdampfgehalt der Atmosphäre, Bewölkung des Himmels, Grad und

Art der Vegetationsbedeckung, Farbe und Art der Gesteine oder des Bodens, Feuchtigkeitsgehalt des letztern, Horizontalität oder Neigung des Bodens, und zwar Neigung in einer den Sonnenstrahlen zugewendeten oder von ihnen abgekehrten Weise, Meereshöhe, Grösse der Landausbreitung etc.) ab. Jede dieser Bedingungen, mit Ausnahme der Exposition, verhält sich für die Wärmeausstrahlung ebenso günstig oder ungünstig, wie für die Wärmeaufnahme. Die Feuchtigkeitsaufnahme durch die Luft, daher auch die Mitteilung latenter Wärme an dieselbe, ist regionenweise grossem Wechsel unterworfen. — Auf Meer- und Landflächen werden Wärme und Feuchtigkeit durch Luftströmungen fortgeführt. Die Wege derselben haben auf dem Meere eine viel grössere Gleichförmigkeit als auf dem Festlande, wo die verschiedenartigen Erwärmungsherde und der Wechsel des Reliefs vielfache, bald beständigere, bald wechselnde Abweichungen hervorrufen. Die Bewegung der Luft ist auf der Oberfläche des Meeres eine schnellere und im allgemeinen beständigere als auf dem Festlande, wo Hindernisse durch Relief, durch Waldvegetation und durch aufsteigende Luftströme Reibung und Retardation verursachen. — Das Meer besitzt noch ein dem Festlande fehlendes Mittel der Uebertragung von Wärme und Kälte in den Strömungen, welche in dieser Hinsicht ungleich wirksamer sind als die Winde. Beiderlei Bewegungen vereinigen sich auf den Oceanen zu im ganzen gleichsinnigen Systemen grosser und allgemeiner Cirkulation.

Diese meteorologischen Gegensätze treffen an den Küsten zusammen. Es werden dadurch viele besondere Erscheinungen hervorgerufen, von denen einige hier Erwähnung finden mögen. Allen liegen die ungleiche Erwärmung, die ungleiche Feuchtigkeitsaufnahme und die ungleichen Wege der Cirkulation zu Grunde. Winde, die vom Lande her gegen das Meer wehen, setzen die Küste unter den kontinentalen Einfluss, und wo sie stets ausschliesslich wehen, kommt die maritime Lage für das Klima gar nicht zur Geltung. Nach Tages- und Jahreszeiten besitzen und vermitteln sie die excessive Erwärmung und die excessive Abkühlung der Landmassen, und in der Regel sind sie trocken, besonders wenn sie Gebirge zu überschreiten hatten, ehe sie die Küste erreichten. Winde, welche vom Meere gegen das Land wehen, bringen eine gleichmässigere und gemässigte Temperatur. In den Tropen sind sie meist kühler als das Land, in der gemässigten Zone im Sommer kühler, im Winter wärmer als

dieses. Sie kommen mit Feuchtigkeit beladen an die Küste. Ist letztere kühler als der Meereswind, oder wird dieser bald zum Aufsteigen in eine kühlere Region der Atmosphäre gezwungen, so erfolgt Kondensation zu Nebel und Regen; ist sie hingegen wärmer, so wird der feuchte Meereswind relativ trocken. Die relative Temperatur des Seewindes, daher auch der Grad seines Feuchtigkeitsgehaltes, hängt zum Teile davon ab, ob er sich auf kalten oder warmen Strömungen damit beladen hat, sein Effekt auf das Land zum Teile davon, ob er von niederen nach höheren Breiten weht oder umgekehrt.

Diese, das Klima der Küsten fundamental beeinflussenden Verhältnisse sollte sich der Reisende in jedem einzelnen Falle klar machen oder zu ihrer Feststellung beitragen. Sie geben Aufschluss über einen Teil der physischen Erscheinungen, welche sich der Beobachtung darbieten. Es ist insbesondere zu beachten, wie sich die oceanischen und die kontinentalen Luftströmungen im Gange des Jahres verteilen, und welche von ihnen den stärkern Einfluss ausüben.

Unter den allgemeinen Erscheinungen, auf welche in dieser Hinsicht an den Küsten zu achten ist, mögen die folgenden hervorgehoben werden: 1) Die beständig aus östlichen Richtungen wehenden Passatwinde sind überhaupt relativ trocken, weil sie von höheren nach niederen Breiten wehen. In erhöhtem Masse sind sie trocken, wenn sie an Westküsten aus dem Lande herauskommen. An Ostküsten sind sie relativ trocken, wenn sie auf flaches erhitztes Land wehen; dagegen entledigen sie sich bei gebirgigem Charakter eines Teiles ihrer Feuchtigkeit. — 2) An den Aequatorialgrenzen der Passate wird sich der periodische Wechsel dieser Winde mit den regenreichen, feuchtheissen Kalmen bemerkbar machen. Da aber die Zone der Kalmen sich auf dem Festlande innerhalb viel weiterer Grenzen verschiebt als auf dem Meere, so beteiligen sich die Küsten, als Zwischenzonen, je nach ihrer Lage zum Teile an der maritimen, zum Teile an der kontinentalen Verschiebung. Die Art, wie dies an ihnen zum Ausdrucke kommt, ist noch keineswegs an allen Küsten bekannt. Es ist besonders auf die cyklonalen Luftbewegungen um kontinentale Erwärmungsherde zu achten, durch welche eine in der Breite des beständigen maritimen Passates gelegene Westküste (z. B. diejenige von Guinea) eine Periode intensiver Regen haben kann. — 3) Eine ähnliche Periodizität findet jenseits der Polargrenze des beständigen Passates statt, wo die Einflüsse des noch während eines Teiles des Jahres wehenden Passates mit denjenigen des herabkommenden und mit der Erzeugung eines beständigen, innerhalb geringer Grenzen schwankenden Druckmaximums in den „Rossbreiten“ ursächlich verbundenen Antipassates wechseln. Zu den regelmässigsten, die Küsten besonders beeinflussenden, aber einer

geringen Verschiebung nach Norden und Süden unterworfenen Erscheinungen gehören die anticyklonalen Luftbewegungen, welche sich um diese auf den Oceanen liegenden Regionen hohen Luftdruckes bilden. Sie veranlassen mit die Passatwinde an ihren Aequatorialgrenzen, dagegen beständige westliche Winde an ihren Polargrenzen. An den Westseiten entstehen warme und sehr feuchte Luftströmungen, welche daher die Ostküsten der Kontinente beeinflussen, dagegen relativ kühle und trockene Luftströmungen an den kontinentalen Westküsten. Da die Meeresströmungen um dieselben Gebiete hohen Luftdruckes kreisen und hier ihren beständigsten Verlauf haben, werden die Eigenschaften jener Windsysteme betreffs der Temperatur und Feuchtigkeit erhöht. Es wird dadurch das kühle Klima und die Trockenheit des Sommers, ebenso wie der durch Westwinde veranlasste winterliche Regenreichtum der allein an den Westküsten der Kontinente ausgebildeten subtropischen Region, die sommerliche Feuchtigkeit und Wärme an den Ostküsten unter gleichen Breiten veranlasst. — 4) Die letzteren Küsten bilden einen Teil der Monsungebiete, deren halbjähriger Wechsel von Land- und Seewind in erster Linie auf kontinentalen Einflüssen beruht und, wenn diese weitaus überwiegend sind, wie im östlichen und südlichen Asien, einen grossen Teil des Tropengebietes mit umfassen kann. Die Einwirkung der über den Kontinenten bestehenden cyklonalen oder anticyklonalen Luftbewegung kann durch die Verhältnisse über den Meeren regionenweise verstärkt oder abgeschwächt werden. In Monsungegenden werden die Küsten während des Sommers von warmen, regenbringenden Seewinden bestrichen, während im Winter relativ kalte, trockene Landwinde wehen. — 5) Die nördlichen Teile der kontinentalen Westküsten der nördlichen Hemisphäre fallen in den Bereich der unperiodisch wechselnden, aber vorherrschend westlichen und südwestlichen, daher in das Land wehenden Winde. An den entsprechenden Küsten der südlichen Hemisphäre wehen Westwinde fast beständig.

Ausser diesen allgemeinen Verhältnissen bieten fast an jeder Küste die Winde noch besondere, örtliche Erscheinungen dar. Kalte Küstenströmungen z. B. veranlassen Nebelbildungen, wenn warme Seewinde über sie nach dem Lande wehen. Ueberall ist den Stürmen Beachtung zu widmen, ihrer Häufigkeit und Heftigkeit, sowie ihrem Charakter: ob Drehstürme auftreten und die Küste treffen oder, die Berührung vermeidend, ihr entlang ziehen; ob der Wind lange aus gewissen Richtungen zu wehen pflegt, oder ob er häufig einen böigen Charakter annimmt. Dies ist alles von Einfluss auf die Höhe der Sturmwellen, welche zur Zerstörung der Küsten besonders viel beitragen. Es gehören ferner hierher die früher (§ 27) besprochenen Sturzwinde oder Fallwinde, welche wegen der Gegensätze zwischen Meer und Land nirgends so häufig auftreten wie an den Küsten.

Tägliche Periode der Land- und Seewinde. — Dieses § 148.
den Küstengegenden eigentümliche, aber dem Berg- und Thalwinde der Gebirge (S. 73) verwandte Phänomen beruht auf dem Unterschiede der der Küste zunächst gelegenen Teile von Land und Meer hinsichtlich der täglichen Aufnahme und Abgabe von Wärme. Wenn am Tage das Land sich stärker erhitzt und die darüber befindliche Luft vom Boden aus erwärmt wird, steigen die Flächen gleichen Luftdruckes an und bekommen ein Gefälle nach dem Meere. Die Luft fliesst in höheren Teilen dorthin ab, vermehrt hier den Luftdruck und verursacht ein Abströmen an der Meeresoberfläche gegen das Land hin. Bei Nacht kühlt sich das Land nebst den darüber befindlichen Luftschichten durch Ausstrahlung stärker ab als das Meer. Es findet alsdann der entgegengesetzte Vorgang statt, indem die Flächen gleichen Luftdruckes sich von der See nach dem Lande hin senken. Die Land- und Seewinde wehen, wenn sie nicht durch stärkere allgemeine Luftströmungen unterdrückt werden, in den Tropen das ganze Jahr hindurch, in gemässigten Breiten im Sommer; in kalten Regionen fehlen sie. Zu beachten sind: 1) die Zeit des Einsetzens der Seebrise (in den Tropen in der Regel h. 10 a m) und der Landbrise, welche gewöhnlich einer um Sonnenuntergang herrschenden Windstille folgt. Für beide sind Stärke, Feuchtigkeitsgehalt, Temperatur und Effekt auf die Gesundheit zu beobachten. Binnenwärts liegende stagnierende Gewässer können den Landwind gesundheitsschädlich machen. Jede der beiden Brisen kann durch die beständig oder periodisch herrschenden Luftströmungen verstärkt werden (z. B. die Seebrise bei Valparaiso und in Kalifornien): die andere wird dann abgeschwächt oder neutralisiert. — 2) Die Höhe der bewegten Luftschicht, welche nur in wenigen Fällen bekannt ist. Sie scheint höchstens einige hundert Meter zu betragen. — 3) Das Verhalten von Bergen, welche in die Strömung hineinragen, und der Einfluss der beiden Brisen auf Bildung oder Zerstörung von Nebeln. — 4) Die Grösse und die Zeit des Eintretens der Luftdruckdifferenzen auf See und Land. Sie lässt sich bestimmen, wo Schiffe auf Reeden lagern. — 5) Der Gang der Luftbewegung. An die Stelle der ältern Theorie, dass die Erwärmung des Landes aspirierend wirke, daher das Zuströmen der Luft dort beginne und seewärts fortschreite, hat Hann die mit allen sonstigen Erscheinungen besser übereinstimmende Erklärung gesetzt, dass die Bewegung bei der Seebrise an der Stelle der

grössten Luftanhäufung, d. h. auf der See, beginne und erst gegen die Küste, dann binnenwärts vorschreite. Dies lässt sich bei ruhigem Wetter an der Stelle des ersten Entstehens und an dem Fortschreiten der Kräuselung des Meeres deutlich beobachten.

C. Bewegungserscheinungen des Meeres.

Die Beobachtungen über die verschiedenartigen Bewegungen des offenen Meeres gehören in den Bereich des Seefahrers. Unabhängig davon lässt sich die Aeusserung dieser Bewegungen an den Küsten der Forschung unterwerfen.

§ 149. 1) Meereswellen und Brandung. — Die Wellen, welche der Wind an der Oberfläche des Meeres hervorbringt, schreiten einander parallel vor dem Winde fort. Da sie dem letztern in ihren Teilen hinfort in ungleicher Weise ausgesetzt sind, so kommen vielfache Unregelmässigkeiten in ihren Formen und in ihrer Aufeinanderfolge vor. Gelangen sie in Gegenden, wo es windstill ist, so geht zwar ein Teil ihres Bewegungsmomentes in innerer Reibung verloren, aber die grossen Wellen setzen ihren Weg noch auf weite Entfernung in langen, sehr vollkommen parallelen Linien fort, und die Gestalt ist nun, ebenso wie die Aufeinanderfolge und die Bewegung, gleichartig und regelmässig. Man nennt sie alsdann Dünung. Ein neuer Wind kann die glatte Oberfläche der Dünungswogen in neue Wellen zweiter und dritter Ordnung kräuseln. Die Dünung kann auch dann noch fortbestehen, wenn ein starker Gegenwind einen andern Wellengang hervorzubringen bestrebt ist. Auch können sich Wellen aller Art mit solchen aus anderen Richtungen kreuzen. Durch die Interferenz, wie sie besonders bei dem von einem Taifune gepeitschten Meere stattfindet, entstehen wilde und chaotische Formen, deren von vielen Seiten gegeneinander gerichtete Bewegungsmomente sich aber um so eher gegenseitig aufheben und eine Ausglättung herbeiführen.

Die Tiefe, bis zu welcher eine Oscillation der Wasserteilchen erkennbar ist, wurde von den Gebrüdern Weber auf experimentellem Wege zu dem 350fachen Betrage der Wellenhöhe an der Oberfläche bestimmt. Da die letztere bei starkem Seegange bis 10 m, bei heftigen Stürmen bis 15, 18 und selbst 20 m erreichen kann, so sollte die Erregung theoretisch bis zu Tiefen von mehr als 4000 m stattfinden können. Indessen wird einerseits der Grad der Fortpflanzung nach der Tiefe von

der Dauer einer gleichmässigen Wellenbewegung abhängen, daher z. B. in den durch Westwinde erregten südlichen Meeren wahrscheinlich sehr gross sein, dagegen bei einem kurz dauernden Wirbelsturme keinen hohen Betrag erreichen. Andererseits ist in Betracht zu ziehen, dass die Art der Bewegung sich ändert. Denn während an der Oberfläche die Bahn jedes Wasserteilchens eine senkrecht stehende, ovale, nicht ganz geschlossene Kurve ist, deren Vertikaldurchmesser den horizontalen überwiegt, sinkt die vertikale Bewegung schon in geringer Tiefe auf einen geringen Bruchteil herab; die horizontale Amplitüde hingegen nimmt in weit geringerm Verhältnisse ab. In einer Tiefe, welche $^1/_{10}$ der Wellenlänge, d. i. ungefähr das Doppelte der Wellenhöhe, beträgt, ist die Vertikalschwingung nur etwas über halb so gross als an der Oberfläche, in der Tiefe einer halben Wellenlänge noch 0,04, in der Tiefe von einer ganzen Wellenlänge nur 0,002 von derjenigen an der Oberfläche.

Die Beobachtung ist darauf zu richten, bis zu welcher Tiefe die durch Teilnahme an der Wellenbewegung der Oberfläche schwingenden Wasserteilchen noch eine mechanische Wirkung auf den Meeresgrund auszuüben vermögen. Das Vorhandensein einer Stosswirkung in der Tiefe kann man deutlich daran erkennen, dass das Meer über tief versenkten Klippen brandet. Eine Umsetzung von festen Teilchen lässt sich an den Kräuselungen (ripplemarks) der Oberfläche des Sandes unmittelbar nachweisen. Man hat sie bei England in der Tiefe von 150 m gefunden, und diejenige von 200 m gilt als die Grenze der nachgewiesenen mechanischen Einwirkung der Wellen. Ein Küstenaufenthalt könnte zuweilen mit Vorteil dazu benutzt werden, ähnliche und andere Anzeichen einer Tiefenbewegung fester Teilchen aufzufinden. Es könnte z. B. die mechanische Abnutzung von kalkigen Gehäusen auf untermeerischen Bänken, bei denen ein Transport vom Lande her ausgeschlossen ist, untersucht werden. Derartige Untersuchungen sind denen zu empfehlen, welche mit dem Schleppnetze arbeiten; sie sind geeignet, Aufschluss über eine der Ursachen der Gestalt des Meeresbodens zu geben.

Stösst ein System aufeinanderfolgender Meereswellen rechtwinklig gegen eine senkrechte Wand, so findet in deren Nähe eine unregelmässige, mit einem Auftürmen einzelner Wellenberge verbundene Anordnung statt. Dies ist offenbar zum Teile die Folge von Interferenzerscheinungen, welche durch den Rückprall

und Rückgang der Welle veranlasst werden. Wäre dies die einzige Ursache, so würde, bis auf einen Verlust durch Reibung, die ganze Kraft jeder einzelnen Welle auf dem rückläufigen Wege zur Geltung kommen und sich bis in weite Fernen in einer Erhöhung und Erniedrigung der herankommenden Wellen äussern müssen. Dies ist jedoch nur in geringem Grade der Fall; denn weitaus der grösste Teil der Kraft der Welle wird in einem Emporheben und Emporschleudern des Wassers verbraucht, durch welches bedeutende Stosswirkungen ausgeübt werden können (§ 153). Dies dürfte wesentlich darin beruhen, dass der grösste Teil der horizontalen Bewegungskomponente bei dem Anpralle in eine vertikale Bewegung umgesetzt wird. Da nun ein Ausweichen nach unten nicht möglich ist, so erfolgt das gewaltsame Auftreiben und Aufschnellen nach oben, welches als Klippenbrandung bekannt ist und selbst an Felsen, die nicht senkrecht einfallen, eine Höhe von 50 m erreichen kann. Jede nachfolgende Welle bringt eine ähnliche Wirkung hervor. Setzt man an Stelle der senkrechten Wand einen schief einfallenden Felsabhang, so verteilt sich die Brechung allmählich von unten nach oben auf eine grössere Fläche, und ein grösserer Teil der Kraft geht durch Reibung an der Bodenfläche und durch Erzeugung partieller Wasserbewegung über derselben verloren. In jedem Querschnitte bewegen sich daher die oberen Teile schneller voran als die unteren. Die Kämme schreiten am weitesten ohne Hinderung fort. Infolgedessen überstürzen sie sich und erreichen als schäumende Brandung und mit beträchtlicher Stosskraft begabt den Küstensaum. Je geringer die Neigung des Bodens, desto mehr konsumiert sich die Kraft in der Einzelarbeit an ihm und desto geringer ist das Auftürmen der Brandungswelle, während der Rückprall gänzlich aufgehoben wird.

Wird die senkrechte oder steil einfallende Fläche unter das Meer versenkt, sodass ihr oberer Rand 10—30 m unter der Oberfläche bleibt, wie es bei der Umsäumung von Küsten durch Korallenriffe vorkommt, so wird nur die Wellenbewegung der tieferen Teile in die Vertikale umgesetzt. Dies giebt sich an weissen Schaumwellen zu erkennen, welche, eine Warnung für den Seefahrer, sich beständig über dem Aussenrande der Klippen bilden. Die aufstrebende Bewegung scheint zum Teile wie eine Brechungswand für die herankommenden Wellenbewegungen der höheren Teile zu dienen, wodurch die Brandungs-

kämme verstärkt werden, dagegen die Höhe der nach der Küste eilenden Wellen bedeutend herabgemindert wird.

Trifft eine Welle unter einem schiefen Winkel gegen eine senkrechte Wand oder eine steile Felsküste, so wird der Stoss in zwei Komponenten zerlegt, von denen eine rechtwinklig zur Küstenlinie, die andere ihr parallel gerichtet sein wird. Das Aufspritzen wird dann nicht gleichzeitig auf der ganzen Linie erfolgen, sondern sich auf ihr allmählich verteilen und zugleich eine geringere Höhe haben wie im ersten Falle. Dies ist besonders dann von Wichtigkeit, wenn die Welle durch den Stoss feste Körper fortzubewegen vermag.

Es wäre von Wert, Messungen über die Kraft des Stosses der sich an das Gestade heranwälzenden Welle vorzunehmen. Thomas Stevenson liess in den Jahren 1843 und 1844 behufs solcher Messungen den Stoss der Welle gegen Platten wirken, hinter denen dynamometrische Apparate angebracht waren. Er fand die Stosskraft bei Skerryvore (im nördlichen Schottland) im Sommer 3000 kg auf den Quadratmeter, im Winter 10 000 kg auf dieselbe Fläche. Sie steigerte sich bei einem Sturme auf 30 500 kg. Messungen in anderen Gegenden ergaben im Mittel bei Cherbourg 3250 kg, bei Algier 3500 kg, bei Civita vecchia im Maximum 16 000 kg auf den Quadratmeter. Auch aus der Grösse der Blöcke, welche der Stoss fortzubewegen vermag, lässt sich dessen Gewalt schätzen. An der englischen Küste wurden solche von 40 m/t Gewicht noch fortbewegt. Wenn solche Wellen in unaufhörlicher Folge gegen eine Felsküste heranstürzen, so wirken sie wie ein Katarakt, aber mit dem Unterschiede, einerseits, dass der Stoss horizontal, mit einer Abweichung nach aufwärts gerichtet ist, andererseits, dass die Kraft nicht, wie bei den meisten Wasserfällen, durch den Sturz in ein Wasserbecken in ihrem mechanischen Effekte beeinträchtigt wird, sondern dieser, da das Schleudern gegen festen Fels geschieht, in viel höherm Grade erreicht wird. — Ausser der Stosskraft würde der vorherrschende Winkel, welchen die Wellenlinie mit der Küste bildet, in verschiedenen Jahreszeiten zu bestimmen sein, sowie die Höhe und Länge der heranrollenden Wellen und ihre Geschwindigkeit. Auch sollte die in § 154 auseinandergesetzte Anordnung in Wellengruppen beobachtet werden.

2) Die Tiden. — Der Reisende wird über die in dem Wechsel von Flut und Ebbe sich äussernden Bewegungen des § 150.

Meeres nur allgemeine Beobachtungen anstellen können, welche an Genauigkeit hinter den Registrierungen gut angebrachter Pegel weit zurückbleiben müssen. Aber bei der mangelhaften Kenntnis, welche man über die Gezeiten besitzt, können auch geringe Beiträge zuweilen von Wert sein. An offenen Küsten lassen sich die Beobachtungen, mit Ausnahme der Zeitbestimmungen, überhaupt selten anstellen; besser in Häfen und besonders in Kanälen, die mit dem Meere in Verbindung stehen.

Mit dem Wesen der Tiden sollte sich derjenige, welchem sich Gelegenheit zu länger fortgesetzter Beobachtung an Meeresküsten bietet, genau bekannt machen. Sie bestehen in einer durch die anziehende Kraft des Mondes hervorgebrachten Welle, deren Ausmass durch die entweder gleichsinnig oder gegensinnig wirkende Anziehungskraft der Sonne periodisch verstärkt und geschwächt wird. Die in der Zeit eines Mondmonats in ihrer Amplitüde zweimal wechselnde Flutwelle würde in zwei Anschwellungen (Zenitwelle und Nadirwelle) in je 24 Stunden und 50 Minuten, d. i. in einer Umlaufszeit des Mondes, die Erde umkreisen, wenn keine Kontinente vorhanden wären. Da diese die Oceane in nordsüdlich gerichtete Becken scheiden, wird die zuerst an der Ostseite eines Beckens erzeugte Welle zwar nach dessen Westseite fortschreiten, aber (ähnlich wie wenn ein an einem Ende befestigtes Seil von dem andern Ende her in Schwingungen versetzt wird) hier reflektiert werden und in entgegengesetztem Sinne nach der Ostseite zurückkehren. Diesen Doppelweg würde sie mit steter Abschwächung wiederholen, d. h. es bildet sich aus der Interferenz der ursprünglichen und der reflektierten Welle eine sogenannte stationäre Welle über die ganze Breite des Oceans; dieselbe würde nach einigen Schwingungen infolge der Schwere und Reibung verschwinden. Wird aber die hebende Kraft in regelmässiger Periode immer aufs neue in gleichem Sinne angesetzt, wie es durch den Mond geschieht, so wird die Welle höher werden, bis die Reibung der Kraft gleich ist; dann bleibt, wenn die Kraft immer dieselbe ist, das Ausmass der Oscillationen konstant. Ist die Periode des Wiederansetzens der Kraft gleich der Zeit, welche die Welle bis zur Rückkehr an den ersten Punkt (also bis zur Zurücklegung des Doppelweges) gebraucht, so wird die Flutwelle das Maximum ihres möglichen Ausmasses erreichen. Stimmen beide Perioden nicht miteinander überein, so wird die Maximalgrenze nicht erreicht, und je grösser die Differenz zwischen beiden Perioden, desto geringer wird die Amplitüde der Welle. Die Oscillationen werden also durch Kräfte angeregt, welche in der Richtung der Breitengrade wirksam sind, und aus der in derselben Richtung stattfindenden Schaukelbewegung erklärt sich die Thatsache, dass an den Westküsten der Oceane die Flutwelle von Ost nach West, an den Ostküsten hingegen von West nach Ost gerichtet ist, wie in einem in periodischen Ansätzen bewegten, mit Wasser gefüllten Troge. Die Periode des Kraftansatzes bei der

gewöhnlichen Flutwelle ist durch die Umlaufszeit des Mondes gegeben. Die Periode einer vollen Oscillation der Flutwelle (Hin- und Rückweg) hängt von dem Verhältnisse zwischen Breite und Tiefe der oceanischen Becken ab; je geringer die mittlere Tiefe, desto grösser ist, bei gleicher Breite, die Oscillationsdauer. Ferrel hat berechnet, dass im nördlichen Atlantischen Oceane unter 52° N., wo das Ausmass der Gezeiten gross ist, die Uebereinstimmung zwischen den beiden Perioden nahezu vorhanden ist, während sie unter 35° N. in demselben Oceane, wo die Höhe der Flutwelle gering ist, bei weitem nicht erreicht wird.

Wäre ein von Nord nach Süd gestreckter Ocean ein regelmässiger Trog mit steilen Seitenwänden und glattem Boden von gleichbleibender Tiefe, so würde das Zusammenwirken der die Tidenwelle erzeugenden Kraft und der von den Wänden reflektierten Bewegung zu einer regelmässigen Periodizität und einer einfachen Aeusserungsweise der Erscheinungen führen müssen. Die Unregelmässigkeit der Gestalt der Oceanbetten und ihrer Einfassungen bringt jedoch grosse und zahlreiche Abweichungen hervor. In der Hauptsache kann man den Oceantrog und seichte Randgegenden unterscheiden. In ersterm muss das Phänomen am regelmässigsten sein, wenn es auch in jedem Oceane innerhalb einzelner geographischer Breitenzonen, zufolge des verschiedenen Verhältnisses der Horizontalausdehnung zur mittlern Tiefe und der Inselbesetzung, eine verschiedene Aeusserungsweise darbieten würde. Hier würde die Richtigkeit der jetzt herrschend gewordenen Theorie geprüft werden können, wenn eine Kette schroff aufsteigender Inseln in demselben Parallel von einem Kontinente zum andern sich erstreckte. In Ermanglung einer solchen werden Beobachtungen auf möglichst vielen oceanischen Inseln von Wert sein, das ist gerade an den Stellen, wo die Geringfügigkeit der Differenz zwischen Ebbe und Flut wenig zu Untersuchungen einladet. Besonders ist die Zeit des Eintretens der höchsten und niedersten Wasserstände an jedem einzelnen Tage und während der Dauer des Monats, daher auch die Springflut und Nippflut, zu notieren.

An den kontinentalen Küsten beobachtet man die Bewegungen, wie sie in dem oceanischen Troge stattfinden, nicht in ihrer Reinheit. Die Flutwelle tritt dort aus dem Tiefmeere auf seichtere Gründe. Dabei wird sie am Boden verzögert und nimmt an Höhe zu. Die oberen Teile behalten ihr Bewegungsmoment; es entsteht ein Strömen nach der Richtung, in der die Welle fortschreitet. Untiefen, Inseln, Bänke und Land-

vorsprünge stellen sich dem Flutstrome in den Weg, hemmen ihn, lenken ihn ab und teilen ihn in kleinere Ströme, welche sich jenseits eines Inselandes (wie Grossbritanniens) wieder begegnen und Interferenzerscheinungen hervorbringen können. In sich verschmälernde Meeresbuchten hineingedrängt, kann die Flutwelle, indem sie an vertikalem Ausmasse einen Teil dessen gewinnt, was sie an Breite einbüsst, ausserordentliche Höhen erreichen. So bilden sich hinsichtlich der Zeit des Eintretens der Flut und ihrer täglichen Höhe lauter Unregelmässigkeiten heraus, die aber in den einzelnen Monats- und Jahresperioden an denselben Orten mit einer gewissen Regelmässigkeit wiederkehren würden, wenn nicht hier die Winde häufig unperiodische Abweichungen durch Aufstauung des Wassers in einzelnen Teilen und Erniedrigung in anderen hervorbrächten. — Die Ebbe nimmt wahrscheinlich auch ihren Anfang an dem Rande des oceanischen Troges, von dem sie nach der entgegengesetzten Küste desselben fortschreitet. Sie zieht dann das Wasser von den seichteren Gründen nach sich. Aus fernen Buchten, Randmeeren und Meeresstrassen wird es gewissermassen herausgezogen, sodass die entferntesten zuletzt an die Reihe kommen.

Interesse und Wichtigkeit der Gezeiten für die Erklärung örtlicher Erscheinungen nehmen mit der Grösse des Phänomens zu. Die herandringende Flut vermehrt die Kraft der gleichlaufenden Meereswellen, die eintretende Ebbe vermindert sie. Dies ist besonders dort der Fall, wo die Flut durch die allmähliche Verengerung einer langen Bucht, in deren Eingang sie breit eintritt, sich hoch aufstaut. Ihre Höhe erreicht bis über 20 m. Ist die Bucht an ihren Enden nicht geschlossen, sondern nach einem jenseitigen Wasserbecken, welches noch Ebbe hat, geöffnet, so strömt das gestaute Wasser mit Gewalt durch diese Oeffnung, bis die volle Fluthöhe in dem Becken erreicht ist. Zieht die Ebbe das Wasser aus der Bucht heraus, so strömt es erst nachher auch aus dem Becken zurück. Derartige Strömungen sind ebenso an sich (nach Breite, Tiefe, Geschwindigkeit, Trübung des Wassers, Gestalt der einfassenden Ufer), wie nach ihren mechanischen Wirkungen zu untersuchen. Sie finden sich besonders, wo, wie an Teilen der Küsten von China und Japan, Gruppen grosser Inseln in der Nähe des Festlandes aus seichtem Meeresgrunde sich erheben. Die Erscheinung kann kompliziert werden, wenn ein Zuströmen durch mehrere Kanäle geschieht. Es finden an solchen Stellen

bedeutende Umsetzungen von festen Stoffen, daher auch Einwirkungen auf die Gestalt des Boden und der Küsten statt.

Bei trichterförmigen Flussmündungen begegnet die herankommende Flut dem herabströmenden Flusswasser. Die Stauung veranlasst im Vereine mit der Verringerung der Bodentiefe in manchen Fällen die Bildung einer oder mehrerer stromaufwärts rollender mächtiger Wellen. Diese sind in einzelnen Teilen ihres Laufes zu beobachten: ob sie an tiefen Stellen des Stromes verschwinden und an seichteren wieder zum Vorschein kommen, und wie weit stromaufwärts sie noch bemerkbar sind.

3) Strömungen. — Die grosse Wichtigkeit, welche die den Küsten entlang gehenden Meeresströmungen für den Transport von festem Materiale haben, macht es wünschenswert, dass ihnen überall Aufmerksamkeit gewidmet werde. Doch wird sich der Reisende damit begnügen müssen, einerseits die Angaben der Seeleute zu registrieren, die allerdings mit grosser Vorsicht und Kritik zu benutzen sind, andererseits die auf Formveränderung gerichteten Wirkungen der Strömungen kennen zu lernen, um aus ihnen auf das Vorhandensein der letzteren an solchen Stellen zu schliessen, wo sie noch nicht nachgewiesen sind. Die Ebbe- und Flutströmungen drängen oft eine schwache, aber viel allgemeinere und beständigere, in einer der Küste parallelen Richtung erfolgende Wasserversetzung zurück. Dazu kommt, dass eine herrschende Strömung durch Winde, die während mehrerer Monate aus der entgegengesetzten Richtung wehen, stillgestellt oder an der Oberfläche direkt umgekehrt werden kann. Selbst die Beobachtung der Richtung, in welcher festes und schweres Gesteinsmaterial der Küste entlang transportiert wird, giebt keine sichere Handhabe für die Schlussfolgerung bezüglich der Strömungen, da sie von der Richtung der vorherrschenden Wellen bestimmt wird (s. § 155) und die Hauptwasserversetzung nicht notwendig mit dieser übereinstimmt. Genaue Wegzeiger für Strömungen sind Eisberge, deren Hauptmasse von tieferen Wasserschichten getragen wird; aber auch ihre Bewegung kann durch widersinnige Oberflächenströme abgelenkt werden. Transport von Treibholz und Schiffstrümmern giebt oft einen Anhalt. Das wichtigste Mittel zur Erkennung und Abgrenzung von Strömungen geben die vergleichenden Zusammenstellungen von Temperatur und Salzgehalt. Wie diese auf dem offenen Meere zu verwenden sind, zeigen Krümmels mustergültige Arbeiten über die Strömungen im Osten von § 151.

Südamerika (Zeitschr. f. wissensch. Geogr. 1883). In ähnlicher Weise sind sie an den Küsten zu verwenden.

Die allgemeine Verteilung der grossen Strömungen auf den Oceanen, soweit sie bekannt ist, lernt der Reisende leicht aus den Karten kennen, auf denen sie dargestellt ist. An der Hand dieser Kenntnis wird er an derjenigen Küste, welche das Objekt seiner Untersuchung ist, erkennen, ob die verschiedenen mit Strömungen zusammenhängenden Erscheinungen mit der Darstellung übereinstimmen oder zum Teile davon abweichen. In letzterm Falle würde die Aufmerksamkeit auf die Ursachen der Abweichung zu richten sein. Als ein allgemeines, die Küstenverhältnisse wesentlich beeinflussendes Gesetz mag hier erwähnt werden, dass die Tendenz zur Ablenkung der Bewegungen nach rechts auf der nördlichen und nach links auf der südlichen Hemisphäre in den Binnen- und Randmeeren fast überall in deutlich bemerkbarer Weise zur Geltung kommt und scheinbare Ausnahmen nur dort erleidet, wo ihr vorherrschende Winde mit Entschiedenheit entgegenwirken oder der Eintritt von Strömungen von aussen her sie nicht zum vollen Ausdrucke gelangen lässt. Es entsteht dadurch ein Kreisen von rechts nach links in den landumschlossenen Meeresteilen der nördlichen Hemisphäre. Dies ist im Mittelmeere ersichtlich, wo die Strömung an der afrikanischen Küste von West nach Ost, an der syrischen nach Nord hinaufgeht und an der Nordseite ebenso im ganzen, wie in den Teilstrecken der nordadriatischen und der südfranzösischen Küsten von Ost nach West gerichtet ist. Die gleiche Erscheinung zeigen die ostasiatischen Randmeere, ebenso wie nach Mohns ausgezeichneten Untersuchungen (Erg.-Heft Nr. 79 zu Peterm. Mitteil. 1885) das europäische Nordmeer.

§ 152. 4) Unperiodische Schwankungen des Meeresspiegels. — Ausser den genannten Bewegungen, welche teils, wie die Wellen der Meeresoberfläche, einen unsteten Charakter haben, aber sich doch innerhalb bestimmter Grenzen halten, teils, wie die Tiden, einer kurzen Periodizität unterliegen, und teils, wie die Strömungen, dieselbe Richtung entweder konstant verfolgen oder nur in langen alternierenden Perioden ändern, giebt es andere, welche in unregelmässigen Zeiträumen erfolgen. Dazu gehört der eben genannte Windstau, welcher sich zu Sturmfluten von aussergewöhnlicher Höhe steigern kann. Sie können, ähnlich wie die aussergewöhnlich angeschwollenen Wildbäche, eine bedeutende mechanische Umgestaltung hervor-

bringen, indem das mit heftigem Andrange beträchtlich über seine sonstige grösste Höhe ansteigende Meer solche Teile des Festen erfasst, welche durch ihre regellose Lagerung weit geringern Widerstand leisten als die vom Meere bereits umgelagerten Teile. Die Verwüstung erstreckt sich auf die Werke des Menschen und auf die Küstenbewohner selbst, sowie auf die Vegetation, umsomehr, als die Flut selbstverständlich in flachen und dicht bevölkerten Alluvialgebieten am weitesten eingreift. Die eigentliche Sturmflut äussert sich in einem allmählichen Ansteigen des Wassers und seinem längern Beharren in höherm Stande. Lange andauernde starke Winde vom Meere her, in Verbindung mit Unterschieden des Luftdrucks, scheinen die Hauptveranlassung zu bilden. Die Wirkung der Sturmfluten ist um so heftiger, je weniger ein Ausgleich des Wassers durch seitliches Ausweichen stattfinden kann; daher treten sie in geschlossenen Meeren am heftigsten auf.

Die zweite Art dieser Schwankungen sind die Erdbebenfluten. Sie äussern sich in einem langsamen Rückzuge des Meeres, welchem das Andringen einer sehr hohen Welle folgt. Dieselbe wirkt in viel höherm Masse zerstörend als die Sturmflut. Die durch ein Erdbeben veranlasste Welle erfasst den Ocean bis auf den Grund und pflanzt sich über dessen ganze Breite und Länge bis zu den Küsten gegenüberliegender Kontinente fort. Zurückkehrend erzeugt sie am ersten Orte ein zweites Ansteigen des Meeres, welches geringer ist als das erste; und so nimmt bei jedem erneuten Ansteigen das Ausmass ab, bis die Kraft in Reibung verbraucht ist. Indessen ist die Wiederkehr der Welle meist unregelmässig, da der jenseitige Anprall an Küsten von verschiedener Entfernung erfolgt ist. Die Höhe der Welle ist am grössten, wo sie, besonders über flachem Meeresboden, an den Festlandsmassen aufläuft, dagegen, gleich derjenigen der Flutwelle, gering in den centralen Teilen der Oceane, daher auch auf den oceanischen Inseln. — Die Beobachtung in solchen Fällen hat sich in erster Linie auf die Messung nach Zeit und Raum zu erstrecken. Genaue Zeitangaben sind wünschenswert für die Berechnungen, welche, besonders hinsichtlich der mittlern Tiefe der Oceane, auf die Erscheinung der Erdbebenwellen gegründet werden. Die Höhe der Flut, die Art der Zerstörung, der Transport schwerer Körper landeinwärts, die Aenderungen, welche das Ereignis zurücklässt, sind Gegenstände für sorgsame Aufzeichnung. Die Kraft der

andringenden Welle hat wahrscheinlich eine sehr bedeutende Wirkung auf den Meeresboden und dürfte, zumal innerhalb der Hundertfadenlinie, eine erhebliche Bodenversetzung gegen das Land hin zur Folge haben. Der Reisende, der in den Fall kommt, bei einem besonders grossartigen Ereignisse dieser Art Beobachtungen in dem in § 171 ausgeführten Sinne anzustellen, kann der Wissenschaft durch Widerlegung oder Bestätigung früherer Anschauungen über die Wirkung von Erdbeben einen Dienst erweisen und wird wahrscheinlich irrige Auffassungen, welche oft wiederholt worden sind, endgültig berichtigen können. Es wäre indessen von Wert, sich nicht mit der Festsetzung des Thatbestandes unmittelbar nach dem Eintreffen des Erdbebens zu begnügen, sondern die Beobachtung durch längere Zeit fortzusetzen, um die Aenderungen kennen zu lernen, welche der plötzlich aufgewühlte und versetzte Boden wahrscheinlich schon nach verhältnismässig kurzer Zeit erleidet.

D. Mechanische Wirkung der Brandung.

Die Umsetzung der lebendigen Kraft der gegen die Küsten anstürmenden Meereswogen in Arbeit ist einer der wichtigsten Faktoren in der Umgestaltung der Erdoberfläche. Soweit die im vorhergehenden angeführten Beobachtungen sich auf die Küsten beschränken, sind sie, obwohl an sich von Interesse, für den Erforscher morphologischer Verhältnisse doch wesentlich Mittel zum Zwecke der über die Art und den Betrag dieser Arbeitsleistung anzustellenden Untersuchungen. Neben den experimentellen Bestimmungen über die Stosskraft (§ 149) kann man ein gewisses Mass für diese auch an der Fortbewegung grosser Blöcke erhalten, wenn man in besonderen Fällen deren Volumen und Gewicht zu berechnen und den Effekt des Stosses der einzelnen Wellen durch den Betrag der von ihr vollbrachten Fortbewegung festzusetzen sucht.

1) Umgestaltung von Felsküsten.

§ 153. Wenn die Brandungswelle gegen Felsen anprallt, so wird das Wasser mit grosser Gewalt in feine Spalten gepresst und drückt auf deren Wände fast mit dem Drucke der ganzen Welle. Dabei wird die in ihnen enthaltene Luft komprimiert und bei dem gewaltsamen Zurückweichen des vom Drucke befreiten Wassers nachgesogen. Durch diese in beständigem Rhythmus sich wiederholenden, mechanischen Effekte wird das gelockerte Gesteins-

material, besonders aus Klüften, weggenommen und der Zusammenhalt der Felsmassen gelockert. Inwieweit Ozonbildung hierbei mitwirkt, ist nicht bekannt. Pflanzen und Meerestiere befördern die Zersetzung und Lockerung des Gesteines, üben aber gleichzeitig einen Schutz aus; dies gilt besonders von den langen Tangen, welche die Kraft der Wogen herabmindern, von dünneren Pflanzenüberzügen, welche das Gestein glatt und schlüpfrig machen, von den Kolonien von Austern und besonders Balanen, endlich von allen kalkigen Krustenbildungen. Exaktere Untersuchungen über diese primären Vorgänge wären erwünscht. Dieselben gestalten sich verschieden je nach dem Vorhandensein oder Fehlen von Ebbe und Flut; denn wo die Tiden verschwindend klein sind, konzentriert sich die Arbeit der Brandung auf eine kleine Zone; dagegen wandert an Küsten mit Gezeiten das Angriffsniveau nach aufwärts und abwärts; die Angriffsfläche wird ausgedehnter. Die Zerstörung sollte zwar infolgedessen in jedem einzelnen Teilniveau geringer sein; doch trifft dies in der Regel nicht zu, weil die Meere mit Gezeiten weit grössere Wellen haben als die tidenlosen und die vordringende Flut deren Kraft verstärkt.

Die Zerstörung äussert sich an einer steil oder senkrecht abfallenden Felswand darin, dass in dem Brandungsniveau eine horizontale Aushöhlung in Gestalt einer rinnenförmigen Hohlkehle gebildet wird. Die dadurch unterminierte Felswand stürzt in einzelnen Teilen herab. Geschieht das Vordringen der Aushöhlung schneller als das Herabstürzen von Gestein, so wird die Wand überhängend; doch richtet sich ihre Gestalt auch nach dem Grade der Einwirkung der atmosphärischen Agentien, welche den Felsküsten einen gegen das Meer gerichteten Abfall zu geben und dessen Neigung im Laufe der Zeit zu verringern streben. Sie erreichen dieses Ziel, wenn sie schneller arbeiten als die Brandung. Ueberwiegt die Wirkung der letztern, so bleibt die steile oder senkrechte oder überhängende Gestalt erhalten.

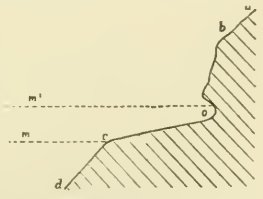

Fig. 64.

Wie nun auch in dieser Beziehung das Verhältnis sein möge, stets muss sich an einer Steilküste, wenn das Meeresniveau konstant bleibt, eine in demselben gelegene Terrasse, ungefähr von der in Fig. 64 dargestellten Gestalt, herausbilden, wobei *a b c d* die ursprüngliche,

nur in dem obern Teile ($a\,b$) bereits etwas veränderte Gestalt und $c\,o$ den Brandungsstrand bezeichnet; m und m^1 sind die Meereshöhen bei Ebbe und Flut.

Der mechanische Vorgang bei der Ausbildung dieses ersten Stadiums bedarf noch genauer Untersuchung. Rollen stetig Wellen von gleicher Kraft heran, so wird diese, wie gesagt, durch gleichsinnige Bewegung des Meeres bei der Flut gesteigert, durch die entgegengesetzte bei Ebbe verringert. Da das Vordringen der Flut am schnellsten stattfindet, wenn die halbe Fluthöhe überschritten ist, so sollte unter allen Umständen erst über deren Niveau die Region der stärksten Zerstörung liegen. Sie wird aber noch höher verlegt, weil die Kämme der Wellen über den Meeresstand hinausreichen, und die emporspritzende Brandung in einer noch grössern Höhe anschlägt. Wegen des letztern Umstandes nimmt mit der Steilheit der Felsküste die Zone der Maximalwirkung an vertikaler Ausdehnung zu.

Die weitere Ausgestaltung scheint nach zwei Richtungen vor sich zu gehen. Denn einerseits geschieht sie durch die anstürmende Brandungswelle in horizontalem Sinne, wodurch die Hohlkehle bei o weiter in den Fels hineingetrieben wird, und das Nachstürzen des Gesteines von oben fortsetzt; andererseits verursacht die Korrasion in sogleich zu beschreibender Weise eine Erniedrigung der Fläche $c\,o$ und, da dieselbe in den höheren Teilen stärker ist als in den tiefer, näher bei c gelegenen, eine Verminderung ihrer Abdachung. Die Fläche des Brandungsstrandes nimmt die in Fig. 65 angegebene Gestalt an. Es ist klar, dass nun die Brandungswelle, indem sie auf einer breitern schiefen Ebene aufrollt, durch Reibung an dieser einen grossen Teil ihrer Kraft verliert und diese nicht mehr in derselben Konzentration wie vorher auf die Zerstörung durch horizontalen Stoss gegen eine vertikale Fläche zu verwenden vermag. Bei niedrigem Tidenstande erreicht sie die Hinterwand überhaupt nicht mehr; erst bei einer gewissen Höhe der Flut strömt sie wieder gegen dieselbe an. Wenn nun der grösste mechanische Effekt im allgemeinen in einer etwas

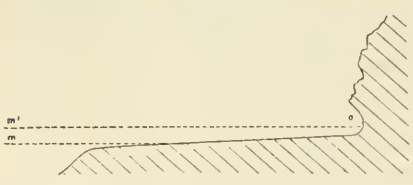

Fig. 65.

über halber Fluthöhe gelegenen Zone stattfindet, so muss doch mit der Verbreiterung des Brandungsstrandes das Verhältnis sich ändern. Ist die Terrasse über die in Fig. 65 angenommene Breite hinaus angewachsen, so werden nur noch die Wellen der höchsten Flut zerstörend wirken; in einem fernern Stadium können nur noch diejenigen, welche bei Stürmen zur Flutzeit heranrollen, einen horizontalen Stoss ausüben, und schliesslich vermögen auch diese den Stirnrand noch gerade zu erreichen, aber ihre zerstörende Kraft ist verloren. Die Steilküste ist dann so weit landeinwärts gerückt, als die Brandungswelle sie dorthin bei unverändertem Meeresstande zu verschieben vermag. Die Gebirge, deren Abfall sie bildet, sind nun der Abflachung

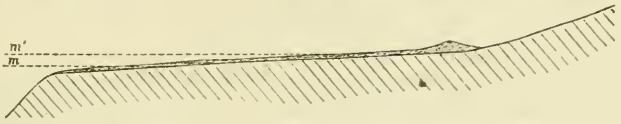

Fig. 66.

durch die Agentien des Festlandes allein ausgesetzt. Bleiben auch die Steilabstürze noch lange bestehen, so ist doch die Tendenz zur Ausbildung einer Endgestalt, wie in Fig. 66, vorhanden. Die Strandfläche ist dann in der Regel mit Detritus bedeckt, welchen die Flüsse des Festlandes und die Strömungen des Meeres herbeischaffen.

Schon in den ersten Stadien der Stufenbildung tritt ein zweites Moment wirksam ein. Auf die Brandungsterrasse stürzt das seiner Unterlage beraubte Gestein in Trümmern, die zum Teile hausgrosse Blöcke sind, herab. Sie bilden zwar einen Schutz für die felsige Rückwand, werden aber selbst durch die in der mannigfachsten Weise an ihnen gebrochene Brandungswelle in Angriff genommen. Die grössten erfahren zunächst noch keine Ortsveränderung, werden aber allmählich von der Stossseite aus zerstört. Zuweilen giebt ihnen der Wogenanprall eine drehende und bohrende Bewegung, durch welche, besonders wenn sie aus härterm Gesteine als die Unterlage bestehen, in dieser kesselförmige Vertiefungen ausgedreht werden. Diejenigen Blöcke und kleineren Gesteinsstücke, welche von der Brandung gehoben und geschoben werden können, werden aneinander geschleudert und dadurch abgerieben und glatt geschliffen, zuweilen zertrümmert und in Rollkiesel und Sand

verwandelt. Die Brandung benutzt sie als Projektile gegen die grossen Blöcke und gegen die Felswand, und während sie erst eine schützende Rolle übernahmen, dienen sie nun als Werkzeuge gesteigerter Zerstörung. Infolge ihrer ungleichen Verteilung auf dem Strande verursachen sie ein ungleiches Mass der Zerstörung entlang der Strandlinie. An manchen Stellen, besonders wo der Küstenfels zerklüftet und stärker zersetzt ist, werden mit ihrer Hülfe Höhlungen von der Gestalt horizontaler Riesenkessel in die Wand eingebohrt. Infolgedessen schreitet dort, wo ein Strand vorhanden ist, die Zerstörung in horizontaler Richtung viel schneller fort, als wo ein solcher fehlt. Die schwerste Arbeit hat die Brandung an strandlosen Steilküsten aus sehr festem Gesteine, wie es bei den meisten Fjordküsten der Fall ist.

Eine zweite Wirkung des Felsschuttes besteht in der Korrasion der Unterlage. Die Blöcke werden hin und her geschoben, die feineren Teile auf den Felsboden geschleudert. Dadurch muss die Fläche ihrer Unebenheiten beraubt, in vertikaler Richtung mehr und mehr abgeschliffen, in horizontaler geschrammt werden. Diese Arbeit findet im Ebbeniveau beständig statt; ihre Periode verkürzt sich allmählich gegen dasjenige der Flut hin. Die grössere Intensität, welche sie hier hat, reicht nicht aus, um der Tendenz zur Ausarbeitung und Erhaltung einer gegen das Meer gerichteten Abdachung der Terrasse entgegenzuwirken. Wahrscheinlich senkt sich aus der genannten Ursache jede voll ausgearbeitete Brandungsterrasse an einer Steilküste unter das Ebbeniveau herab; ohne die Korrasion müsste ihr unterer Rand mit diesem zusammenfallen. Die Abreibung des Bodens kann aber vollkommen erlahmen, wenn der zu grösserer Breite gediehene Strand sich dauernd mit Sand bedeckt und dieser die Gesteinstrümmer einhüllt. Dieser Zustand aber ist die Regel, ein breiter und kahler Felsstrand die Ausnahme. Nur Strömungen vermögen ihn frei zu halten. Dadurch ist auch die Beobachtung erschwert.

Die Breite, welche ein Brandungsstrand zur Zeit der Beobachtung erreicht hat, ist von verschiedenen Umständen abhängig. Der wichtigste von ihnen ist die Zeit, d. h. die Dauer der Einwirkung. Sehen wir hier von diesem ab, so kann man die anderen in zwei Klassen teilen, insofern sie entweder dem Meere und den atmosphärischen Bewegungen oder dem Festlande angehören. Die Faktoren der ersten Klasse bleiben

in grossen Küstenstrecken gleich; sie sind: die herrschende Windrichtung und Windstärke, die zum Teile damit, zum Teile mit den in grossen Fernen erzeugten Dünungswellen zusammenhängende Stärke der Brandung, die Temperatur des Wassers, das Vorhandensein oder Fehlen von Eis, der Abstand zwischen Ebbe und Flut. Die Faktoren, welche dem Festlande angehören, können sich in grossen Strecken gleichbleiben oder auch schon in kurzen Entfernungen vielfache Aenderungen erfahren. Sie sind: die vertikale Gestalt der Küste, die horizontalen Umrissformen, welche es verursachen, dass einzelne Teile der Brandungswirkung ausgesetzt, andere ihr entzogen sind, die Gesteinszusammensetzung, die Lagerung der Gesteine. Wir beschränken uns auf die Betrachtung der beiden letzteren.

In weichem Gesteine arbeitet die Brandungswelle schneller als in hartem. In vulkanischem Schutte und selbst in mürbem Sandsteine kann sie ihre Arbeit bis zur äussersten erreichbaren Grenze vollendet haben, während sie in basaltischen Lavaströmen, welche den erstern unterbrechen, oder an Granit, welcher von dem Sandsteine umhüllt wird, ihr Werk kaum begonnen zu haben scheint oder dasselbe sich doch noch in den ersten Stadien befindet. Waren alle diese Gesteine an einer geradlinigen Steilküste angeordnet, so wird die Küstenlinie bei Ebbezeit nur geringe Veränderungen zeigen, bei Flutstand hingegen in Buchten in das Land eingreifen; und da der Arbeitseffekt der atmosphärischen Agentien sich in entsprechender Weise zwischen die weichen und harten Gesteine verteilt, so werden schroffe Vorsprünge mit sanftgeformten Lande in den Einbuchtungen wechseln. Dies sind extreme Fälle. Der Beobachtung bieten sich kleinere Abstufungen dar, die im einzelnen zu untersuchen sind.

Von grosser Wichtigkeit ist die Lagerung. Hier gilt das umgekehrte Gesetz, indem der Arbeitseffekt um so grösser ist, je grösser die in der Lagerung allein (bei gleichbleibender Härte des Gesteines) begründeten Widerstände sind. In Fig. 64 und 65 ist angenommen, dass das Einfallen von Schichtgesteinen binnenwärts gerichtet ist. Der horizontale, etwas nach oben gerichtete Stoss begegnet hier, so sehr auch das unterminierte Gestein herabstürzen mag, stets neuen Widerständen, daher hat die Arbeit eine grosse Wirkung; auch die Korrasion wird auf den freigelegten Schichtenköpfen leicht ausgeführt. Anders ist es bei horizontaler Lagerung, wie in Fig. 67. Hier kann die Wirkung im Anfange

eine sehr grosse sein, besonders wenn der Härtewechsel der Schichten das Untergraben erleichtert. Das Gestein stürzt leicht nach und wird dabei häufig von Kluftrichtungen unterstützt, welche bei Tafellagerung selten ganz fehlen. Es ist auf die dadurch entstehenden Formen der Küstenabbrüche wohl zu achten. Allein es scheint, dass sich nur schwierig eine Abdachung bildet, und dass vielmehr eine Tendenz zu einer Sonderung der Stufe in breite, durch Steilabbrüche getrennte Staffeln vorhanden ist. Dadurch erleidet die Welle, wenn sie die landeinwärts rückende Stirnwand zu erreichen strebt, eine bedeutende Abschwächung. Das Zeitmass des Vorganges scheint sich daher landeinwärts in viel ungünstigerer Weise als im vorigen Falle zu verlängern. Noch schwieriger gestaltet sich das Verhältnis für die Brandung, wenn die Schichten seewärts einfallen, wie in Fig. 68, besonders wenn der Fallwinkel gering ist. Die Welle läuft auf der Schichtenfläche hinauf, ohne einem erheblichen Widerstande zu begegnen; ihre Kraft verzehrt sich im Emporheben des Wassers und Reibung. Es wird zwar mit der Zeit eine Brandungsstufe ausgearbeitet werden; aber bei gleich hartem Gesteine dürfte diese Lagerungsform die ungünstigste sein.

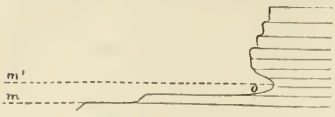

Fig. 67.

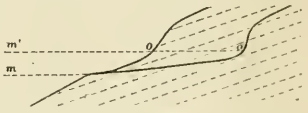

Fig. 68.

Es wurde bis jetzt angenommen, dass die Küstenlinie dem Schichtenstreichen parallel ist. Sie bleibt alsdann sich selbst parallel, einförmig und geradlinig; nur bei Tafellagerung, wo ein solcher Parallelismus nicht stattfinden kann, wird der Steilrand des Strandes häufig eine unregelmässige und winklige Gestalt annehmen. Ganz anders ist es, wenn die Küste in einem schiefen oder rechten Winkel zum Schichtenstreichen gerichtet ist. Dann kommt der Härtewechsel zur Geltung, ebenso wie das Unterminieren des härtern Gesteines durch Herausarbeiten des weichern. Wenn in Fig. 69 a die beiden Scheidelinien zwei Steilküsten zwischen dem (schraffierten) Meere und einem 100 m hohen, aus einem Wechsel harter und weicher (*h* und *w*), in der Richtung des Pfeiles fallender Schichten zusammengesetzten Festlande bezeichnen, so wird die Küste in

dem durch das Flutniveau gelegten Horizontaldurchschnitte (Fig. 69b) ungefähr die Gestalt der eingebuchteten Linie haben, während der Ebbestrand noch der ursprünglichen Begrenzung folgt. Liegt der Norden oben, so wird jeder der westlichen Vorsprünge nach dieser Seite steil auf eine wohlausgebildete

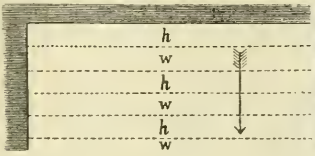

Fig. 69a.

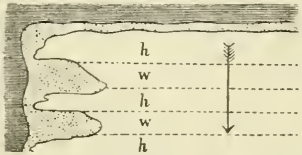

Fig. 69b.

Brandungsfläche, nach Süden sanfter auf eine in der Ausbildung zurückgebliebene Stufe abfallen. Man wird hierin leicht eine der Ursachen der unruhigen Gestalt der Riasküsten erkennen.

Diese Ausführungen mögen dem Beobachter einige der Gesichtspunkte angeben, von denen aus die Brandungswirkung an felsigen Küsten hinsichtlich der äussern Ausgestaltung betrachtet werden kann. Sie würden sich ohne Schwierigkeit vermehren lassen. Es ist hier vorausgesetzt worden, dass der Strand sich an einer Steilküste und zwar an einer Stelle bilde, wo vorher noch keiner vorhanden war. Im folgenden sehen wir davon ab und betrachten den Strand allgemein als die von dem Niveau der höchsten Flut nach demjenigen der tiefsten Ebbe sich abdachende Fläche, gleichviel ob die letztere unter dem Meere noch weithin fortsetze oder nicht. Auch die Anwesenheit eines felsigen Stirnrandes ist zunächst nicht vorausgesetzt.

2) Aufbereitung und Transport der Zerstörungsprodukte.

Wo ein Strand an einer Felsküste in der Bildung oder im Fortschreiten (nach § 161) begriffen ist, findet die bereits beschriebene Bearbeitung des herabgestürzten Gesteinsmaterials statt. Solange es nicht durch Sandumhüllung unangreifbar für die Welle geworden ist, ruht sie nicht, bis alles zertrümmert und zerkleinert ist. Ist dies auch mit einer fortdauernden § 154.

Aufbereitung verbunden, indem die grösseren Blöcke höher hinauf in die Gegend, wo die Welle ihre grösste Kraft hat, geschoben, die Zerkleinerungsprodukte aber abwärts dem Meere zugeführt werden, so ist doch die Seigerung nicht dauernd und rein, solange noch das Hauptbestreben der Welle darauf gerichtet ist, die Felswände zu zerstören und weiter zurück zu versetzen. Anders ist es auf einem fertig gebildeten Strande, dessen Fläche wir uns in das Meer hinein verlängert denken.

Um die hier unaufhörlich stattfindenden Vorgänge zu verstehen, muss man sich mit dem Mechanismus der Wellenbewegung auf dem Strande vertraut machen. Man kann ihn am besten an Flachküsten beobachten, wo die Wirkung der Kraft auf eine grosse Fläche verteilt wird. Eine Welle rollt heran; sie erleidet eine Retardation durch Reibung am Boden. Die Bodenschicht selbst wird still gestellt und erhält die Neigung, abwärts zu strömen. Die oberen Schichten schreiten fort, werden aber durch Reibung an der ruhenden aufgehalten. Die nächste Welle findet bereits eine Bodenschicht, die aus ruhendem und schwach bewegtem Wasser besteht; sie eilt über sie hin, erreicht die erste Welle, geht über sie hinweg und bildet durch weiteres Voraneilen der oberen gegen die unteren, nunmehr durch Reibung am festen Boden aufgehaltenen Teile einen fortschreitenden Wasserfall. Sie wird vielleicht in ähnlicher Weise von einer dritten Welle überholt. Ehe die vierte Welle herankommt, ist das Wasser abgelaufen, und der Vorgang beginnt aufs neue. Er findet auch bei ganz ruhigem Meere statt, da immer etwas Dünung vorhanden ist. Ein gegen die Küste gerichteter Wind steigert die Macht der Welle. Ihre höchste Transportkraft hat diese in dem Augenblicke und an der Stelle, wo sie bricht, indem die über den eigentlichen Wellenkamm hinwegeilenden höheren Teile in diesem Moment die grösste Geschwindigkeit erreichen. Durch den Anprall hat die Welle Sand und Schlamm aufgewühlt, besonders auch Muscheln und Tange, zuweilen selbst Kieselsteine. Diese werden gehoben, und wo die Welle etwas höher aufwärts wie ein Katarakt herabfällt, schleudert sie die Projektile gegen den Boden oder gegen Hindernisse, z. B. gegen Felsen, welche aus dem Strande aufragen; dieselben werden dadurch nach und nach geglättet und hinweggefegt. Gleichzeitig zieht auf dem Boden der Unterstrom hinab.

Im allgemeinen ist wahrscheinlich der Vorgang bei heftiger Brandung an felsigen Küsten analog. Wichtig für die Art der mechanischen Wirkung ist der Gegensatz der bedeutenden, zu erheblicher Arbeitsleistung fähigen Stosskraft der auf einen Strand rollenden Welle und der geringen, von Wassermasse und Neigungswinkel des Strandes abhängigen Tragkraft des rückläufigen Wassers. Jene grössere Kraft ist, wenn die Welle feste Körper erreicht, auf Stoss und Transport nach aufwärts gerichtet, die geringere auf Bewegung nach abwärts. An einer Strandküste mit heftiger Brandung können daher grosse Blöcke und abgerollte Gesteinsstücke von der Welle im Moment und an der Stelle ihrer grössten Kraftentwicklung erfasst und zusammen mit vielem feinern Materiale nach aufwärts gestossen oder getragen werden. Kaum hat die Welle diese Transportarbeit verrichtet, so zieht sie sich zurück, um den Strand für kurze Zeit trocken zu lassen. Bei Beginn des Rückzuges ist die Geschwindigkeit gleich Null; daher fallen dann die vom Wasser getragenen grösseren Gesteinsstücke herab. Diejenigen, welche die Welle schon nach den höchsten ihr erreichbaren Stellen getragen hat, bilden ein Haufwerk, dessen Neigungswinkel der natürlichen Böschung einer Anhäufung von losen Blöcken entspricht. Das zurückfliessende Wasser erhält auf seinem Wege nach abwärts erhöhte Geschwindigkeit und nimmt die kleineren Gerölle und Kiesel mit sich. Dadurch wird die Böschung vermindert. Ehe das Vorrücken einer neuen Wellengruppe beginnt, erfolgt ein Stillstand, wobei der herabgeführte Sand zu Boden fällt.

Infolge dieser Vorgänge geschieht die Ablagerung am Meeresstrande den Gesetzen des stehenden Wassers entgegen, indem die grössten Gesteinsstücke die Tendenz haben, sich im Niveau der höchsten Flut anzuhäufen, oft sogar über demselben, wenn die Küste heftigen Stürmen ausgesetzt ist. Dagegen bildet sich im untersten Teile eine Böschung von feinem Sande, welche von unten nach oben allmählich steiler ansteigt; zugleich mit dem Winkel nimmt die Korngrösse von unten nach oben zu. Doch lässt sich in der Regel eine schärfere Begrenzung zwischen zwei Hauptzonen wahrnehmen. Die rückläufige Welle beschleunigt nämlich anfangs zwar ihren Lauf, aber da die Neigung sich verringert und damit die Reibung wächst, hört an einer bestimmten Stelle die Beschleunigung auf. Diese Stelle markiert sich als scharfe Grenze zwischen Kies und Sand. An

ihr konzentrieren sich die Anhäufungen von Muschelschalen; wo Kies vorkommt, enthält der Sand gewöhnlich nur kleine Fragmente von jenen.

Der Reisende kann an verschiedenen Küsten das Wirken dieser Vorgänge an sich beobachten und ihren Effekt der Messung unterziehen. Es ist am besten, das Problem elementar zu fassen und von seinen Anfängen an zu studieren.

3) Wandern des lockern Materials der Küste entlang.

§ 155. Wenn die Längsachse einer heranrollenden Meereswelle der Küstenlinie nicht parallel ist, sondern (wie in Fig. 70) unter einem schiefen Winkel gegen dieselbe gerichtet ist, so wird, wie in § 149 erwähnt wurde, die Stosskraft in zwei Komponenten zerlegt, von denen eine der Küste parallel, die andere rechtwinklig zu ihr gerichtet ist. Nur die letztere scheint zum Teile in reflektierte, zum Teile in aufwärts gerichtete, das Wasser brandend emporschleudernde Bewegung verwandelt zu werden. Diese übt zugleich eine Stosskraft landeinwärts und etwas nach aufwärts aus, während die Kraft der horizontalen Komponente festes Material der Küste entlang fortschieben kann. Bei sehr flachen Küsten verkleinert sich bei dem Heranrollen der Winkel, welchen die Welle zur Küstenlinie beschreibt; doch dürfte ein vollkommener Parallelismus mit dieser nie erreicht werden. Je stärker der Abfall des Meeresbodens von der Küste an geneigt ist, desto weniger Aenderung erfährt jener Winkel.

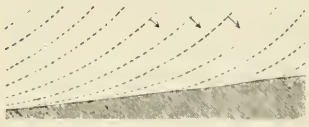

Fig. 70.

Da die Richtung der Wellen und des durch sie ausgeübten Stosses sich häufig ändert, so wird diejenige, in welcher das feste Material entlang der Küste transportiert wird, durch die Resultaten aus den wechselnden Stossrichtungen bestimmt.

Rollt die Welle auf einen mit losen Massen bedeckten Strand auf, so erhält infolge der Zerlegung der Kraft jeder Gesteinsblock zugleich mit dem Stosse, welcher ihn an den Strand hinaufzuschieben strebt, einen Stoss nach der Seite. Durch fortgesetzte Bewegung wird er abgestossen und abgerollt. So bilden sich Strandgerölle. Die kleineren wandern durch das Ansetzen derselben Kraft weiter als die grösseren; am weitesten wird der Sand fortbewegt. Es entsteht also eine Aufbereitung

und Anordnung nach Zonen, die rechtwinklig zur Strandlinie gerichtet sind. Das Material jeder Grösse erreicht schliesslich einen Ort, wo es dauernd abgelagert wird. Dies geschieht besonders dort, wo eine Bucht in das Land eingreift. Die Gerölle werden, wie es in Fig. 71 dargestellt ist, von Vorsprüngen aus in Gestalt eines flachen Walles abgelagert, welcher dem nachfolgenden Materiale einen Stützpunkt bietet. Zuweilen laufen von zwei eine Bucht begrenzenden Vorsprüngen zwei gegeneinander strebende Wälle aus, welche das Innere der Bucht abzusperren drohen. Biegt, wie in Fig. 72, die Küste in solcher Weise um, dass ein Teil rechtwinklig zu der Richtung der Wellen zu liegen kommt, so tritt der im vorigen auseinandergesetzte Fall ein; das fortbewegte Material sammelt sich an; das gröbere wird nach aufwärts geschoben, das feinere von der rückläufigen Welle abwärts getragen; seitliches Schieben findet nicht mehr statt. Es entstehen Steinwälle, deren Höhe das mittlere Meeresniveau um 4—5 m überragen kann, da sie durch Hochfluten und Stürme bestimmt wird. In gleicher Weise bilden sich freie oder angelehnte Sandwälle. Ihre Richtung ist gewöhnlich fast geradlinig.

Fig. 71.

Fig. 72.

4) Funktionen der vorgeschobenen Küstenwälle.

§ 156. Das Vorschieben des festen Materials in ziemlich gerader Linie hat eine hohe morphologische Bedeutung. Die Küstenwälle schützen das Land vor den Angriffen durch das Meer und können die Abrasion stillstellen. Sie unterliegen selbst häufig einer Umlagerung und Zerstörung, behalten aber ihre schützende Rolle oft für lange Zeit.

Die zweite Funktion besteht in der Vereinfachung der Gestalt der Küstenlinie. Die Brandungswelle nagt an den Vorsprüngen, wo nur selten Ablagerung stattfindet, und benutzt

selbst das Material, um die einspringenden Teile auszugleichen. Vorgeschobene Steilküsten können daher als Aufbereitungsstätten bezeichnet werden, wo das Material hergerichtet wird, mittelst dessen Absatz an flachen Stellen und vor Buchten die Küstenlinie modifiziert wird. Eine sehr eingeschnittene Küste kann dadurch eine einfache Gestalt erhalten. Dies scheint eine der wesentlichsten Ursachen der merkwürdigen Erscheinung zu sein, dass die Küstenlinien der Kontinente in grossen Strecken einen gleichmässigen Verlauf haben. Besonders gilt diese Ursache bei Flachküsten.

Eine dritte Funktion, wodurch die einfache Küstengestalt vollendet wird, besteht in der Abdämmung von Wasserbecken an den Stellen vormaliger Buchten. Diese „Lagunen“ können die verschiedenen in § 117 (Nr. 14) dargestellten Schicksale betreffs der Aenderung der Beschaffenheit ihres Wassers erfahren.

5) Wirkung der Meereswellen und Strömungen an Flussmündungen.

§ 157. Die Art der Entstehung der Sand- und Schlammbarren an den Stellen, wo sedimentreiche Flüsse in das Meer münden, ist in §§ 86, 87 erörtert worden. Zu denjenigen Momenten, welche die Gestaltung beeinflussen können, gehören der Andrang der Meereswellen und die Meeresströmungen. Nicht nur können sie den Widerstand vergrössern, den das vorwärts bewegte Flusswasser findet, es wird auch ausserdem Material von aussen zugeführt oder wenigstens umgelagert. Die Barre wird erhöht und wächst über das Flussniveau, einen festen Damm bildend, der sich in derselben Richtung stetig verlängert und den Fluss von seiner Richtung so weit abdrängen kann, dass er gezwungen wird, der Küste parallel und durch einen niedern Damm vom Meere getrennt zu fliessen.

Der Kampf zwischen Fluss und Meer um die Mündungsstelle des erstern und ihre wechselseitige Rolle in der Ablagerung und Verteilung der Sedimente geben vielfach Anlass zu Beobachtungen von Interesse. Nur in einzelnen Fällen sind sie an einem Flusse mit Genauigkeit ausgeführt worden. Die Manifestationen sind von Fall zu Fall verschieden. Der Reisende kann zu der Kenntnis der Erscheinung beitragen, wenn er die sich ihm darbietende Phase, in welchem sich eine Flussmündung eben befindet, durch sorgfältige Beobachtung festlegt.

6) Küstenablagerungen durch Meeresströmungen.

§ 158. Während die Brandungswelle mit dem langsamen Fortschieben des gröbern Strandmaterials beschäftigt ist, wird ein sehr viel massenhafterer Transport von feineren festen Bestandteilen durch die Küstenströmungen bewirkt, besonders dort, wo sie dasselbe von grossen Strömen des Festlandes in Empfang nehmen und forttragen; aber auch die durch die Brandung aufbereiteten feinkörnigen Massen und die Trübung, welche durch heftigen Wellengang aus der Tiefe aufgewirbelt wird, verfallen ihnen. Während daher die Brandung die feinere Feilung und Ausgleichung der Küstenlinie im einzelnen besorgt, wird durch die Strömungen dieselbe Funktion in viel allgemeinerer Weise ausgeübt. Es giebt Abräumungsküsten, wo die Brandung freies Spiel hat, und Auffüllungsküsten, wo sie geringe Kraft ausübt. Ob das eine oder das andere der Fall ist, kann von verschiedenen Umständen abhängen. Es scheint, dass, wo eine kräftige, sedimentfreie Strömung die Küste bestreicht, die Abräumung des von der Brandung gelieferten feinen Materials eine sehr vollkommene ist. Unter dieser Bedingung befinden sich felsige Küsten, die weit in das Meer hinausragen, wie diejenigen der Bretagne und Galicias. Dass eine Strömung in grosser Erstreckung fegend wirken kann, zeigt die asturische Küste. Aufschüttung des hinweggeführten Materials kann durch eine Küstenwendung verursacht werden, wovon die Küste der Gascogne ein Beispiel giebt, oder durch die Rückbiegung einer Küste in Lee eines Vorsprunges, wodurch rückläufige Strömungen veranlasst werden. Es scheint aber auch, dass Flachküsten im allgemeinen die Tendenz haben, weitere Aufschüttungen von den Strömungen aufzunehmen, weil die Kraft der letzteren sich wegen der geringen Tiefe vermindert. Dies sind nur einzelne Möglichkeiten; man sollte die Ursachen der Abräumung wie der Ablagerung in jedem einzelnen Falle festzustellen suchen. Zu diesem wichtigen Teile der Küstenforschung gehört auch die Untersuchung der Agentien, durch welche die Anschwemmungen landfest werden. Das Festhalten des Bodens durch Vegetation, insbesondere die Mangrove der Tropen, und durch Dünenbildung scheinen die wichtigsten zu sein.

Das lehrreichste Beispiel der Landanschwemmung durch Strömungen bietet die Küste von Guyana, wo der Waini, der Barima, der Amagura und andere Flüsse durch den Absatz der von der starken Strömung der Küste entlanggeführten Sedimente

des Amazonas, des Essequibo und anderer Landströme von ihrem Laufe abgelenkt worden sind und der Küste parallel fliessen, und das neugebildete Niederland von höchster Fruchtbarkeit ist (s. § 143, 7). — Noch bekannter ist das Verhältnis an der Nordwestküste des adriatischen Meeres, wo die von rechts nach links die Küsten abfegende Strömung die Sedimente des Isonzo und des Tagliamento vor die Lagunen von Venedig schiebt; oder dasjenige im östlichen Mittelmeere, wo die ebenfalls von rechts nach links die Küsten umkreisende Strömung den Nilschlamm an der Küste von Palästina ablagert. Die gleiche Richtung der Strömung bewirkt den Unterschied der Küstenbeschaffenheit im Osten und Westen der Rhonemündung. Aehnliche Erscheinungen bieten die nördliche und südliche Küste des Golfes von Mexiko, die Mosquitoküste und viele andere. In den meisten dieser Fälle ist die Wirkung der Strömung klar erkennbar. Doch sollte die Erscheinung noch eingehender untersucht werden, da man erwarten kann, an den Küstenformen zuweilen einen positiven Anhalt zur Beurteilung der Strömungsrichtungen zu haben. Besonders sind die Nehrungen zu beachten. Da sie gewöhnlich dem Wasser nur einen schmalen Ausgang gestatten, scheint es, dass ihr Wachstum von dem festgewachsenen Ende begonnen haben und gegen das andere freie, die Wasserverbindung begrenzende Ende gerichtet sein sollte. Dies stimmt mit der bestehenden Ansicht der Strömungsverteilung nicht immer überein; z. B. lässt der langgedehnte Damm, welcher die Laguna dos Patos von der Küste des südlichen Brasilien abscheidet, einen Ausgang am südlichen Ende, während hier eine nordwärts gerichtete kalte Küstenströmung angenommen wird.

Lehrreich für die Beobachtung sollten die Meeresküsten in solchen Gegenden sein, wo der Passat beständig weht und die Strömungen analoge Richtung mit ihm haben. Alle auf Zerstörung und Fortschaffung gerichteten Kräfte wirken dann in gleichem Sinne den Küsten entlang. Dies ist in mehreren Teilen tropischer Ostküsten der Fall. Doch gilt Aehnliches für Teile der Westküsten der Südkontinente.

7) Umlagerung der Strandbildungen durch Wind (Dünen).

§ 159. Da infolge der aufwärts gerichteten Transportwirkung der Brandungswelle ein der Neubildung periodisch unter-

worfener Strand überall vorhanden ist, wo die Küste aus Schwemmgebilden besteht, so findet an solchen Stellen der Wind Material zur Umlagerung vor. Am wenigsten ist dies der Fall bei Meeren ohne Gezeiten oder bei Binnenseen. Hier bieten nur der durch Sturmwellen gebildete Strand oder die bei einer Rückstauung des Wassers freigelegte Küstenfläche einen Anhalt für den Wind. Je grösser die Niveaudifferenz zwischen Ebbe und Flut, je bedeutender die Zufuhr neuen Materials und je flacher die Böschung des Strandes, desto mehr Gelegenheit zum Angriffe wird den atmosphärischen Strömungen geboten. Der schnell trocknende Sand wird vom Seewinde erfasst und landeinwärts getragen. Wäre eine Düne noch nicht vorhanden, so würden die kleinen Unebenheiten des Bodens, insbesondere die Vegetation, bald die ungleiche Ablagerung und die Entstehung kleiner Sandwellen veranlassen. Aus jeder von diesen könnte mit der Zeit eine Düne entstehen, d. h. eine Welle mit mässig scharfem Kamme, deren Durchschnitt nach der Seeseite einen im obern Teile konvexen, im untern konkaven, nach der Landseite einen vom Scheitel an konkaven Bogen darbieten würde. Wenn der Seewind ohne neue Zufuhr von Sand zu wehen fortführe, so würden die Sandteilchen auf der Windseite aufwärts bis zum Kamme getragen werden und auf der Innenseite niederfallen; die Welle würde in der Richtung des Windes fortwandern, dabei allmählich zerstört werden und zur Vergrösserung anderer Sandwellen von derselben Gestalt beitragen. Da nun aber der Seewind fortdauernd neue Zufuhr von Sand bringt, und die Wellen nicht gleiche Grösse haben, so wird bald ein Anwachsen der mächtigeren auf Kosten der schwächeren stattfinden; es werden die Dünen an Höhe zunehmen, bis ein dem ziemlich gleichmässigen Korne des Sandes entsprechendes Verhältnis zwischen mittlerer Windstärke, mittlerm Zuführungsbetrage und Dünenhöhe erreicht wäre. Die letztere erreicht häufig 10, 20 und bis 80 m. Der überschüssige Sand lagert sich in der Richtung des Windes ab, sodass ein Bestreben der Dünen vorhanden ist, sich landeinwärts auszubreiten. Die bedeutendsten Höhen sind in der Gascogne (90 m) und zwischen Kap Bojador und Kap Verde, wo, wahrscheinlich infolge des Umstandes, dass der Seewind den durch die Passate vom Lande her zugeführten Sand zurückstaut, Dünen von 120—180 m Höhe vorkommen sollen.

Bei den Beobachtungen an Meeresküsten bietet sich vielfach Gelegenheit, den Vorgang bei der Bildung, Umbildung und Wanderung der Dünen zu studieren. Insbesondere sind Daten betreffs der Schnelligkeit des Vorrückens zu sammeln. Auch das rein Morphographische ist allenthalben festzustellen; nicht nur die Breite der Dünenzone und ihre Zusammensetzung aus mehreren Reihen von Sandwellen, sondern auch das Vorkommen von Vertiefungen in ihr und die Art der Ausfüllung derselben, ob mit salzigem oder süssem Wasser oder mit ertragsfähigem Boden (s. § 218). Es ist ferner auf die Vegetation zu achten, ob dieselbe nur aus Gräsern besteht, und aus welchen Gattungen und Arten, oder ob höhere Pflanzenformen (wie die Pandaneen in den Tropen), insbesondere Bäume, daran teilnehmen. Ist die Düne kahl, so sollte danach geforscht werden, ob sie es immer gewesen ist, und, falls die Baumvegetation erst durch Zerstörung verschwunden ist, welche Aenderungen seitdem stattgefunden haben.

Ein anderer zu berücksichtigender Punkt betrifft die Wiederholung der Dünenreihen im Innern des Landes, welche den Beweis für eine ehemalige Binnenlage der Küste geben würden, wie in § 168 ausgeführt ist.

E. Wirkung der Brandungswelle bei negativer Strandverschiebung.

§ 160. Wenn die relative Aenderung im Niveau von Land und Meer an einer felsigen Steilküste in der Weise geschieht, dass die Küstenlinie um einen gewissen Betrag seewärts zurückschreitet und das Land sich zu heben scheint, so wird der frühere Strand trockengelegt und die Bildung eines neuen in der tiefern Isohypse des nunmehrigen Meeresstandes sofort in Angriff genommen. Fände das Zurückweichen des Meeres in einem durch lange Perioden bezeichneten Rhythmus statt, so würde bei jedem Stillstande der Bewegung eine Küstenterrasse mit Strand gebildet werden; aber da die Breite einer derartigen Strandterrasse ein bestimmtes, nicht bedeutendes Mass nicht überschreiten kann (§ 153), so würde in jedem einzelnen Niveau eine örtliche und zeitliche Grenze für die mechanische Wirkung der Brandungswellen gegeben sein, wenigstens würden nach Ueberschreitung derselben die Kraftwirkungen sehr gering sein. Wir würden also, von der Küste nach dem Innern emporsteigend, eine Reihe von Terrassen übereinander angeordnet

finden, und dieselben würden eine für jeden Fall verschiedene Maximalbreite nicht überschreiten, häufig aber dieselbe nicht erreichen. Solche Brandungsterrassen oder „gehobene Strandterrassen", meist von mangelhafter Ausbildung, sind an den Küsten von Norwegen, Grönland, Spitzbergen, an der Westküste von Patagonien und in anderen Gegenden bekannt. Sie finden sich besonders an solchen Fjordküsten, welche aus sehr hartem Gesteine bestehen, zuweilen vereinzelt, öfters in mehrfacher Wiederholung übereinander. Ihr Fehlen kann nicht als Beweis dafür, dass sie früher nicht vorhanden gewesen seien, angenommen werden, da sie in weichem Gesteine überall, und auch in härterm, bei feuchtem heissen Klima leicht zerstört worden sein können. Untersuchungen über das Mass dieser Zerstörung unter einer gewissen Summe äusserer Bedingungen dürften von Interesse sein.

Verschieden von der beschriebenen muss die äussere Gestaltung dort sein, wo der Rückzug des Meeres allmählich und sehr langsam, aber gleichmässig geschehen ist. An solchen Stellen muss die dem ursprünglichen höchsten Stande entsprechende Terrasse ebenso allmählich tiefer herab gelegt werden. Das Resultat würde demjenigen entsprechen, welches man an dem emporgetauchten Teile desselben Abfalles durch Abnehmen einer je nach Neigungswinkel und Gesteinshärte an Mächtigkeit wechselnden Oberflächenschale erhalten würde; eine wesentliche Aenderung in demjenigen Teile des Abfalles, welcher von Anfang an über das Meer hervorragte, würde infolge dieser Vorgänge nicht verursacht werden.

Noch unbedeutender sind die Aenderungen, welche die dem Rückzuge des Meeres folgende Arbeit der Brandungswelle an einer Flachküste auszuüben vermag.

F. Bildung von Abrasionsflächen infolge der Brandungswirkung bei positiver Strandlinienverschiebung.

§ 161. Wenn auf S. 330 die hohe Bedeutung der Brandungswelle in der Umgestaltung der Erdoberfläche hervorgehoben wurde, so kann dieselbe doch in ihrer ganzen Tragweite erst erkannt werden, wenn man sie unter dem Gesichtspunkte der Verschiebung der Angriffslinien gegen das Innere der Festländer hin betrachtet. Infolge derselben hat dieses Agens wahrscheinlich in vergangenen Zeitaltern der Erdgeschichte gewaltigere Aenderungen hervorgebracht, als irgend eine andere von aussen auf

den Planeten wirkende Kraft.*) Beobachtungen über seine Wirksamkeit in der Gegenwart liegen wegen besonderer damit verbundender Schwierigkeiten sehr spärlich vor. Umsomehr ist die Aufmerksamkeit derjenigen, welchen sich Gelegenheit dazu bietet, auf diesen Gegenstand zu richten. Fortgesetzte Untersuchung an einem Orte wird, wenn der Gesichtspunkt klar erfasst ist, ebensogut zu brauchbaren Resultaten führen, als das vergleichende Zusammentragen von Beobachtungen an verschiedenen Stellen.

Wenn bei stationärer Lage einer Gebirgsküste die Brandungswelle das äusserste erreichbare Arbeitsmass vollzogen hat, wenn also der Brandungsstrand eine solche Breite erlangt hat, dass die höchsten Wellen eine zerstörende Kraft nicht mehr ausüben können, so wird die Zerstörungsarbeit sofort wieder beginnen, wenn durch Sinken des Landes oder Ansteigen des Meeresspiegels die Küste landeinwärts verlegt wird. Der Vorgang ist derselbe wie der zuvor (§§ 153, 154) beschriebene. Geschieht die Verschiebung der Strandlinie so langsam, dass in jeder einzelnen Höhe die Brandungswelle das grösstmögliche Mass ihrer Arbeit gethan hat, ehe ein weiteres Vorrücken stattfindet, so wird sich eine schwachgeneigte ebenmässige Fläche bilden, deren oberer, bei Ebbe freigelegter Rand den Strand bildet und daher allein sichtbar ist, während der gesamte übrige Teil unter dem Meere gelegen ist. Nehmen wir an, die in Fig. 73 dargestellte Küste bestehe aus homogenem Gesteine, dessen Oberfläche unter gleichbleibendem Neigungswinkel von einer Gebirgshöhe nach der Meerestiefe hinabziehe,

*) Es sind vielfach Ansichten über die Frage ausgewechselt worden, ob in der Gegenwart eine grössere Abtragung der Festlandsmassen durch die äusseren Agentien (Verwitterung, Lösung, Wirkung fliessender Gewässer) oder durch das Meer geschieht, und es sind zu Gunsten der ersteren gewichtige Argumente geltend gemacht worden. Insoweit dieselben auf Berechnung fortgeführter Quantitäten beruhen, gestatten sie keinen Vergleich, da selbst der roheste Versuch einer quantitativen Schätzung der Zerstörung durch das Meer noch nicht gemacht werden konnte. Aber auch wenn die subaërische Abtragung jetzt wirklich grösser sein sollte, kann diese Schlussfolgerung keineswegs auf vergangene Zeiten übertragen werden. Denn die Jetztzeit zeichnet sich durch relativen Stillstand in den Strandverschiebungen aus, welche die erste Bedingung für die volle Wirksamkeit der Kräfte des bewegten Meeres sind. Die Grösse des Phänomens ergiebt sich erst aus der geologischen Betrachtung der Abrasionsflächen und der Gebilde transgredierender Ablagerung.

und es seien an derselben während einer langen Periode die Art und die Intensität der dynamischen Agentien des Meeres unverändert, während die Meeresfläche langsam ansteige. Stellt $d\,t$ den Abfall des Gebirges gegen die Meerestiefe dar, so wird die erste Wirkung der Brandung zwischen den Gezeiten-

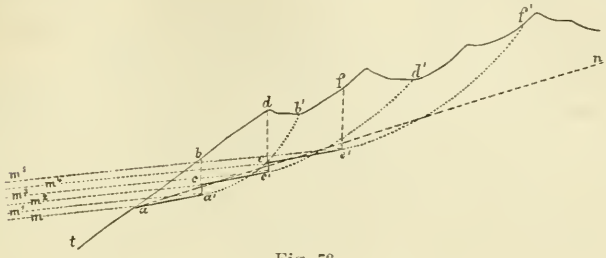

Fig. 73.

Niveaus m und m^1 in der Bildung einer Terrasse $a\,a^1$ bestehen, wobei die Gesteinsmasse $a\,a^1\,b$ durch Nachstürzen entfernt wird. Steigt nun das Meer um einen Betrag an, welcher die Tidenhöhen nach m^2 und m^3 verlegt, und bleibt es in dieser hinreichende Zeit bestehen, so wird die Terrasse $c\,c^1$ herausgearbeitet werden, während das Stück $b\,c\,c^1\,d$ allmählich hinabstürzt, zertrümmert und zerstört wird. Ebenso wird in einer dritten Periode $e\,e^1$ abgeschliffen werden und $d\,e\,e^1\,f$ herabstürzen u. s. f. Nimmt man die Zeitintervalle unendlich klein, d. h. das Hinabsinken des Landes in das Meer kontinuierlich

Fig. 74.

an, so wird die Schlifffläche $a\,n$ entstehen und der ganze Berg $a\,d\,f\,f^1\,n$ abgetragen worden sein. In ähnlicher Weise kann ein grosses Faltungsgebirge über einer gewissen hindurchgelegten Fläche verschwinden und diese nun den Meeresgrund bilden, wie in Fig. 74 im Querschnitte dargestellt ist, wo die punktierten Linien den durch die Brandungswirkung abgetragenen Teil und die Linie $a\,n$ die Abrasionsfläche andeutet. In dieser Weise kann die einfache Strandterrasse durch Fortrücken des

gleichen Vorganges eine Ausdehnung von Tausenden von Quadratkilometern erreichen. Selbstverständlich wird der Stirnwall nur stellenweise und in verhältnismässig geringer Höhe so steile Formen bilden, wie sie in den Linien $a^1 b$, $c^1 d$, $e^1 f$ (Fig. 73) dargestellt sind, indem die Erosion durch fliessendes Wasser die Tendenz hat, sanftere Neigungen, wie $a^1 b^1$, $c^1 d^1$, $e^1 f^1$, zu schaffen, und dies je nach den obwaltenden Umständen mit grösserer oder geringerer Vollkommenheit erreicht.

Die Gestalt der Abrasionsfläche kann vielfache Abweichungen von der Regelmässigkeit erfahren. Geschieht bei homogenem Gesteine und gleichmässigem ursprünglichen Abfalle das Vorrücken des Meeres so schnell, dass die Brandung in keinem Niveau ihr Werk vollenden kann, so wird die ansteigende Fläche steiler sein und einen schief aufsteigenden Schnitt durch die anfangs vorhanden gewesene Felsmasse darstellen. Wechselt das Mass des Vorrückens in einzelnen Zeiträumen, so werden, bei Voraussetzung von homogenem Gesteine, sanftgeneigte und steilere Teile der neu gebildeten Fläche in Zonen miteinander abwechseln.

Diese Fläche, welche einzig und allein bei positiver Verschiebung der Strandlinie gebildet werden kann, bezeichnen wir als Abrasionsfläche, den Vorgang selbst als Abrasion.

Die Abrasionsfläche kann eine Breite von vielen Kilometern erreichen; der Fall ist denkbar und aus den früheren Zeitaltern der Erde nachweisbar, dass sie zu Hunderten von Kilometern, selbst, wenn auch in Absätzen und in streckenweise vielfach modifizierter Gestalt, zu Tausenden derselben anwächst.

Die gewaltige Wirkung der Abrasion beruht auf dem Umstande, dass sie alle Formgebilde, welche über dem Brandungsniveau aufragen, zu vernichten strebt, und dass sie dieses Ziel in ausserordentlich vollkommener Weise zu erreichen vermag. Ob die vorrückende Brandungswelle eine nur wenige Meter aufragende Festlandsstelle angreife oder ein mehrere Kilometer hohes Gebirge erfasse — im einen wie im andern Falle wird, falls die Zeit zur Ausbildung der Brandungsterrasse und zur Forträumung des Schuttes ausreicht, die gleiche, sanft aufsteigende Fläche geschaffen. Das ganze Gebirge kann bis zu dem Niveau dieser Fläche vollkommen abgetragen werden und als solches verschwinden. Und wenn hinter dem ersten Gebirge ein zweites und ein drittes aufsteigt, so kann an der Stelle von

ihnen allen eine einfache Fläche mit geringer Abdachung geschaffen werden. Folgt auf eine dem Strande parallele Zone harter Gesteine eine solche von mürberen, leicht zerstörbaren Sandsteinen, so vermag die vorschreitende Brandungswelle in diesen nicht tiefer hinab zu arbeiten als in jenen; und wenn dahinter wieder festes Gestein folgt, so kann durch dasselbe die Fläche ebenmässig fortsetzen. Das allgemeine und ununterbrochene Ansteigen der Abrasionsfläche ist also unabhängig von einem Härtewechsel des Gesteines, welcher in einer der Strandlinie parallelen Richtung stattfindet. Es werden in so angeordnetem weichen Gesteine keine Vertiefungen geschaffen.

Dieses Verhältnis ist in Fig. 75 dargestellt, wo an die Projektion der Abrasionsfläche auf der vertikalen Durchschnittsebene ist. Mit pp ist gefaltetes paläozoisches Gebirge, mit rs aufgelagerter roter Sandstein, mit mm^1 eine Absenkungs-

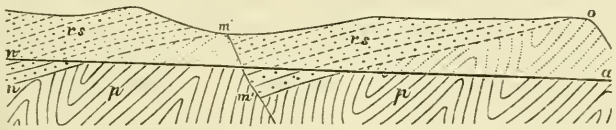

Fig. 75.

verwerfung bezeichnet. Es ist klar, dass die Linien nm und m^1o eine alte Abrasionsfläche anzeigen, auf welcher die Sandsteine transgredierend lagern, und dass durch eine spätere Gebirgsstörung die Sandsteine bei m^1 in eine tiefe Lage gekommen sind. Wenn nun die neue Abrasionsfläche von a bis rs vorgedrungen ist, so kann sie zwar in dem Materiale, welches sie hier trifft, leichter und schneller arbeiten als zuvor, aber sie kann sich nicht nach der Tiefe in dasselbe eingraben, sondern setzt ihren Gang, wenn der Brandungswelle bei jedem Meeresstande hinreichend Zeit gelassen ist, gleichmässig fort bis nach n.

§ 162. Modifikationen des Abrasionsschemas. — Selten haben Abrasionsflächen auf grössere Erstreckung eine gleichmässige Gestalt. Denn weder ist der Brandungswelle in jedem Niveau gestattet, das volle Mass ihrer Arbeit auszuführen, indem das Ansteigen des Meeres nicht gleichförmig, sondern bald schneller, bald langsamer erfolgt, auch häufig durch die

gegenteilige Bewegung unterbrochen wird, noch ist der Effekt des ihr im Einzelfalle gestatteten Masses der Einwirkung auf alle Gesteine gleich. Wenn diese der Küste entlang mehrfach wechseln, so kann, wie es bereits für den Fall unveränderten Meeresstandes dargestellt wurde, in weichem Gesteine der volle Brandungsstrand hergestellt sein, während in dem harten erst ein geringer Effekt erzielt ist. Diese Verschiedenheit steigert sich bei Erhöhung des Meeresstandes; denn die Brandung wird nun ihre Arbeit in den festen Massen an einer nur wenig gegen die frühere landeinwärts gelegenen Stelle ansetzen, in dem weichen Gesteine hingegen viel weiter gegen das Binnenland hin thätig sein. Schliessen zwei feste Gesteinsmassen, z. B. von Gneis, Granit oder Quarzit, eine solche von mürbem Sandsteine ein, so werden die ersteren auch zur Ebbezeit die seitlichen Vorsprünge einer durch das mürbere Gestein bezeichneten Bucht bilden. Es werden also die festen Gesteinsmassen aus ihren weichen Hüllen gewissermassen herauspräpariert. Dies wird in um so vollkommenerm Masse stattfinden, je schneller die Strandlinie vorschreitet. Geschieht dies ausserordentlich langsam, so kann es mit dem Abräumen der festen Gesteine vollständig Schritt halten. Es sollte untersucht werden, welche Gestalt die durch Abrasion allein geschaffenen Buchten annehmen, und ob die oben (§ 141) dargestellte Ansicht richtig ist, dass nur die konkaven Einbuchtungen zwischen Felsvorsprüngen ausschliesslich auf dieses Agens zurückzuführen sind, die tief mit spitzem Winkel und Krümmungen eingreifenden Buchten aber versenkte Thäler sind.

Einzelne feste Massen können vollkommen isoliert werden. Sie werden in Inseln und Felsriffen aufragen. Werden die Kuppen der letzteren auch noch weggenommen, so bleibt ein allseitig glatt benagtes, in der Regel oben abgerundetes Gebilde übrig. Kommt dasselbe durch spätere Wechsel zwischen Land und Meer trocken zu liegen, um demselben Vorgange noch einmal oder mehreremal zu unterliegen, so wird es zu einer mehr und mehr flachen Wölbung mit glatter Oberfläche abgeschliffen werden.

Der Härtewechsel der Gesteine erhält für die Endgestaltung in viel höherm Grade als in dem früher (§ 153) angenommenen Falle, besonders dort Bedeutung, wo die Küste quer zum Gebirgs- und Schichtenstreichen gerichtet ist, wie an den Westküsten von Grossbritannien oder an denen der Bretagne

und des südöstlichen China, also an den Riasküsten. Hier wird ein ungemein grosser Buchtenreichtum geschaffen.

Für die Mehrzahl der Küsten mit positiver Strandverschiebung kommen die Modifikationen, welche durch den Härteunterschied der nebeneinander gleichzeitig bearbeiteten Gesteine verursacht werden, wenig zur Geltung. Die morphographische Betrachtung zeigte, dass der Parallelismus von Küsten mit der Richtung von Faltungsgebirgen und dem Schichtenstreichen eine häufige Erscheinung ist; und wenn man die grossen Flachlandsgebiete der Erde sich wieder, wie sie es ehemals waren, mit Meer bedeckt denkt, so springt die überwiegende Häufigkeit des angedeuteten Verhältnisses noch deutlicher in die Augen. Eine Brandungsküste, welche gegen ein Faltungsgebirge vorrückt, wird also demselben in der Regel in jedem Stadium ungefähr parallel bleiben und, da sie bei fortschreitender Zerstörung den innern Kern des Gebirges angreift, an allen Punkten gleichzeitig nahezu gleiche Gesteine bearbeiten. Buchten werden hier wesentlich nur insoweit geschaffen werden, als das Gebirge Unregelmässigkeiten im Baue hat oder von festen Eruptivgesteinen durchsetzt ist. Dagegen werden manche Abweichungen von einem gleichmässigen Ansteigen der Abrasionsfläche einerseits durch die langsamere oder schnellere Niveauverschiebung, andererseits durch den zonalen Gesteinswechsel hervorgebracht werden. Es können flache wellige Stufen entstehen. Insbesondere wird die Brandungswelle an der Abflachung und Glättung des kristallinischen Kernes eines Faltungsgebirges schwere Arbeit auszuführen haben. Dies lässt sich in der That an den zahlreichen Rumpfgebirgen (Kap. XVI) beobachten. Hochgewölbt ragen sie meist über die tieferen Umgebungen hinaus, in welchen die Abrasionsfläche die gefalteten Schichten leichter zerstörbarer Sedimentgesteine abschneidet.

§ 163. Transgredierende Ablagerung der Zerstörungsprodukte. — Da Abrasionsflächen die Gebirgsgerüste der Kontinente durchschneiden, so zeichnet sich auf ihnen deren innere Struktur; schief oder senkrecht einfallende Schichten und Eruptivgesteine sind in derselben Fläche abgehobelt. Damit ist die Basis für die Ablagerung horizontaler, daher im Verhältnisse zum Grundbaue transgredierender oder übergreifender Schichten geschaffen. Das Material zu denselben geben die Trümmermassen der zerstörten Gebirge selbst. Daher findet man auf Abrasionsflächen unmittelbar auflagernd meist klastische

Gesteine, d. h. solche, welche aus der Zertrümmerung anderer hervorgegangen sind. Des Herabstürzens der Felswände auf den Brandungsstrand wurde bereits gedacht, ebenso der Zertrümmerung, welcher die Blöcke unterliegen, und des Bestrebens der Brandung, sie nach dem höchsten von ihr erreichbaren Niveau zu schaffen (§ 154). Sie vermag dies nur durch die Zerkleinerung der Blöcke zu erreichen. Bei dem weitern Ansteigen herrscht die Tendenz, die gröberen Reste früherer Abstürze, soweit sie nicht schon in kleinere Trümmer und Sand eingehüllt sind, zusammen mit dem neu herabgestürzten Materiale noch höher hinaufzubefördern. Bestehen die Blöcke aus festem Gesteine, so behalten sie leicht eine bedeutende Grösse und werden bei dem Herabsinken des Landes von klastischen Massen eingeschlossen. Deshalb liegen oft Trümmermassen mit zahlreichen grossen Blöcken den Abrasionsflächen unmittelbar auf. Da sie manchmal aus der Zerstörung von Gebirgen stammen, die mehrere tausend Fuss hoch aufragten, so können sie einen der Unterlage gar nicht entsprechenden petrographischen Charakter haben. Solche von Granit, Diorit und anderen harten Gesteinen finden sich bis zur Grösse von einigen Metern Durchmesser an Stellen, wo diese Gesteine nicht anstehen. Wenn das Meer über diesen untersten Sedimenten allmählich tiefer wird, bedeckt es dieselben mit den feinkörnigen und schliesslich sandigen Produkten, welche aus dem Zerstörungswerke der nun in grösserer Ferne wirkenden Brandung hervorgegangen sind.

§ 164. Fortführung der Zerstörungsprodukte. — Es giebt Abrasionsflächen, welche von transgredierenden Schichtmassen nicht überdeckt sind, sondern ihr Gestein zu Tage treten lassen, obgleich die Tektonik des letztern den Beweis von der Abtragung bedeutender Gebirgsmassen giebt, welche einst darüber aufragten. Wir werden sie als Abrasionsplateaus kennen lernen (Kap. XVI). Die Frage, was mit dem abgetragenen Materiale geworden sei, drängt sich unmittelbar auf, ist aber im einzelnen Falle nur hypothetisch zu beantworten.

§ 165. Beobachtungen. — Das Abrasionsphänomen in allgemeiner Fassung entzieht sich der direkten Beobachtung; denn das Meer verhüllt bei positiver Strandlinienverschiebung den Schauplatz seiner vormaligen Wirksamkeit durch die Brandungswelle und bietet nur den dermaligen der Untersuchung dar. Ueberdies ist in den meisten Fällen der sichtbare Teil der abradierten

Fläche bis über das Ebbeniveau hinaus und zuweilen bis zum Flutniveau mit Sand bedeckt. Sie gewährt den Anblick eines flachen Sandstrandes, an dessen oberm Rande Felszerstörung stattfindet. Die letztere ist zwar, wie erwähnt, besonders an den britischen Küsten Gegenstand der Forschung gewesen, aber diese geschah lediglich von dem Gesichtspunkte des Fortwirkens im gleichen Meeresniveau. Das Moment der infolge des steigenden Meeresspiegels gegen das Land in stetig höheres Niveau vordringenden Brandungswirkung ist für die Untersuchung des Vorganges noch kaum in Betracht gezogen worden. Erst die orographische und geologische Beobachtung hat die Aufmerksamkeit darauf gelenkt, da sie über dem Meere gelegene Flächen zeigt, welche nur durch den beschriebenen Vorgang gebildet worden sein können.*)

*) Der Schluss, dass weite Flächen, welche gefaltetes Gebirge gleichmässig abschneiden, durch Brandungswirkung bei langsamer Senkung des Landes gebildet sein müssen, wurde zum erstenmal von Ramsay im Jahre 1847 gezogen, als derselbe die alte Oberfläche der Gebirge von Wales wiederherzustellen suchte und in ihr eine derartige gleichmässige Fläche fand. Er nannte die Erscheinung *plains of marine denudation*. Doch verband er bei späteren Wiederholungen der Theorie (zuletzt in *Physical geology of Great Britain*, 5th. ed., London 1878, p. 496—499) niemals damit die wichtige Erscheinung der Transgression, durch welche der Vorgang erst seine volle und hohe Bedeutung in der Geschichte der Erde erhält. Es ist auffallend, dass die Erkennung eines so wichtigen Vorganges keine Folge gehabt hat. Obwohl Jukes in Irland eine analoge Erscheinung, wie die von Ramsay in Wales beobachtete, fand, ist doch sonst Neues kaum hinzugefügt worden. Die englischen Lehrbücher haben die Erscheinung entweder gar nicht erwähnt oder nur die Theorie von Ramsay, oft unvollständig, wiederholt; diejenigen von Dana und de Lapparent haben sie unter ungenügenden Gesichtspunkten dargestellt, die deutschen sie erst seit kurzem aufgenommen. Es scheint daher, dass der amerikanische Geolog Archibald R. Marvine (in Haydens *Report* für 1873, p. 144) ganz selbständig auf die Darstellung desselben Bildungsvorganges für den Grundbau des Felsengebirges, als der Unterlage transgredierender Sedimente kam; allerdings nahm er, was nicht nötig erscheint, an, dass erst das alte Gebirge durch subaërisch wirkende Agentien bis zum Meeresniveau abgetragen wurde, ehe es vom Oceane völlig abgeschliffen wurde, und er brachte die Entstehung der transgredierenden Sedimente nicht in ursächliche Beziehung zu diesem Vorgange. — Ebenfalls unabhängig und in Unkenntnis beider Vorgänger hatte der Verfasser im Jahre 1870 aus einer Reihe beobachteter Thatsachen dieselbe Folgerung für die Erklärung einerseits unbedeckter, denen von Wales ähnlicher Formgebilde im nordostlichen China, andererseits der wiederholten ausserordentlich weitreichenden Transgressionen, welche dort in paläozoischen

Auch weiterhin muss die geologische Beobachtung der grossen Vorgänge der Vergangenheit den Anhalt dafür geben, was an den Küsten der Gegenwart zu untersuchen ist. Man ist zu der Annahme berechtigt, dass (mit seltenen Ausnahmen) überall, wo ein sanft ansteigender Meeresboden bis zu dem bei Fluthöhe von der Brandungswelle erreichten Fusse eines klippigen Abfalles hinaufzieht, eine in der Fortbildung begriffene Abrasionsfläche vorliegt. Zur Untersuchung eignen sich besonders die felsigen, von Sedimentbedeckung freien Strandflächen. Man wird bei ihnen die kleinen Modifikationen der Angreifbarkeit des Gesteines feststellen können. Unter sonst gleichen Umständen (d. h. bei gleichem Wogenandrange und gleichem Masse vertikaler Niveauverschiebung) muss in solchen Fällen die Brandung eine intensivere sein als bei Sedimentbedeckung, weil die Neigung eine stärkere ist und die heranrollenden Wogen einen geringern Kraftverlust durch Reibung erleiden. Es ist auch den Ursachen der Kahlheit des Strandes nachzuspüren; sie werden ausnahmslos in Strömungen beruhen, welche die Sedimente fortführen.

Wo eine felsige Strandfläche an einen hohen Steilabfall grenzt und von diesem grosse Blöcke herabstürzen, welche von der Brandung geschoben werden, sollte man untersuchen, ob dadurch in dem Felsboden Furchen gegraben werden. Es sind solche auf sehr alten Abrasionsflächen, welche von Trümmerkonglomeraten bedeckt werden, gefunden worden. Man hat, wie in § 105 erwähnt wurde, geglaubt, darin die Spuren ehemaliger Eiszeiten zu entdecken und die Trümmermassen als Moränenschutt erklärt. Es sollte mit grosser Genauigkeit untersucht werden, ob dieser weittragende Schluss berechtigt ist, und ob man es nicht vielmehr mit ganz einfachen Abrasionserscheinungen zu thun hat.

Von Interesse wäre es, im einzelnen Falle zu untersuchen, ob das der Küste zunächst gelegene Land in früherer Zeit eine oder mehrere Abrasionen erfahren hat. Die Abrasionsflächen der Vorzeit deuten häufig auf eine mehrfache Wiederholung des Vorganges hin. Wie verhält sich, wo dies zutrifft, das

---

Zeiten (in der in Fig. 75 veranschaulichten Weise) stattgefunden haben, gezogen. Er wünscht die Aufmerksamkeit jüngerer Forschungsreisender ganz besonders auf den wichtigen Gegenstand, welcher weite Gesichtspunkte eröffnet, zu lenken. Die Küstenforschung ist die notwendige Grundlage dafür.

Neuansetzen der Kraft zu der Wegräumung der aus der frühern Abrasionsperiode stammenden transgredierenden Sedimente? Erfolgt eine Umlagerung derselben oder bleibt die neue Abrasionsfläche vollständig frei? Welches ist die Wirkung auf unbedecktes festes Gestein, insbesondere auf die früher in rundlichen Formen herausgearbeiteten Anschwellungen? Ist die Arbeit geeignet, durch öftere Wiederholung des Vorganges diese harten Massen so vollständig glatt abzuhobeln, wie es bei der grossen südrussischen Abrasionsfläche von Gneis und Granit zur Erscheinung kommt?

Einflüsse, welche der Abrasion entgegenwirken. — Wo vor einer Küste ein Damm liegt, welcher die Wellen auffängt, kann eine Brandung nicht stattfinden. Nimmt bei dem Ansteigen des Meeres der Damm an Höhe zu, so wird jenseits desselben das Meeresniveau an der Küste emporsteigen, ohne bestimmte Marken seiner vormaligen Existenz eingegraben zu haben. § 166.

Diesen Küstenschutz gewähren in erster Linie die Strandriffe (§§ 181, 186): Küstenwälle (§ 155) bieten ihn für einige Zeit. Bei dem Vordringen des Meeres können sie in demselben Verhältnisse, als dieses an Tiefe zunimmt, an Höhe wachsen; aber da ihre Lage von mehreren Umständen, darunter von der Gestalt der Küste, abhängt und diese bei jedem Meeresstande eine andere ist, so sind sie veränderliche Gebilde. Sie werden hier und dort zeitweise Schutz vor der Brandungswelle gewähren, zu anderen Zeiten aber die Küste der Zerstörung durch dieselbe aussetzen. Da diejenigen Abrasionsküsten, welche zur Buchtenbildung geneigt sind, am meisten Gelegenheit zum Entstehen von Strandwällen geben, so tritt zu dem einen, die wechselvolle Ausgestaltung bedingenden Moment ein zweites, welches ebenfalls in dem Sinne mannigfacher Formengebung wirkt. Die Abrasion begegnet also an Querküsten mancherlei Hindernissen und wird im allgemeinen unvollkommener bleiben als an Längsküsten. Beobachtungen hierüber sollten sich an solchen Stellen ausführen lassen, wo die Querenden von Gebirgszügen in ehemaligen Meeresboden hineinragen, wie es am Ostrande der aralo-kaspischen Niederung vielfach der Fall ist. An analogen Küsten der Jetztzeit beschränkt sich die Beobachtung auf eine Phase und bleibt unvollständig.

Erwünscht sind Beobachtungen über die Rolle, welche das Eis bei der Brandung spielt. Eine ausgebreitete Decke von

Packeis oder Meereis (§§ 99, 113) sollte ihre Arbeit lahmlegen. Sie hebt und senkt sich zwar mit Ebbe und Flut und bewirkt eine Reibung an den Küsten, aber die Kraft der Wellen wird durch die feste Decke, welche sie zu heben haben, beinahe neutralisiert werden. Schwimmendes Eis wird die Wirkung der heranrollenden Welle abschwächen. Dagegen dürfte ein nicht unbedeutender Arbeitsbetrag durch gestrandete Eisberge ausgeführt werden, wenn sie sich mit den Wellen heben und senken. Doch geschieht diese Arbeit untermeerisch. Die Brandung kann auch durch Eisberge nur abgeschwächt werden. Es ist indessen zu bemerken, dass einige Forscher, entgegen der hier vertretenen Ansicht, in dem Eise einen Genossen des bewegten Meeres erblickt haben, welcher dem letztern nicht nur in der Küstenzerstörung behülflich sei, sondern in manchen Fällen (z. B. bei der Bildung der norwegischen Strandterrassen) den Hauptbetrag der Arbeit verrichtet habe. Diese Frage sollte durch Beobachtungen in hohen Breiten klargelegt werden.

G. Kennzeichen der Strandverschiebung. (Hebung und Senkung.)

§ 167. Es ist bekannt und wurde auch bei den letzten Erörterungen schon vorausgesetzt, dass an vielen Küsten das Meer gegen das Land vordringt, an anderen sich von ihm zurückzieht. Diese Aenderungen können dadurch veranlasst werden, dass an der Küste Ansatz durch Ablagerung oder Verlust durch Zerstörung hervorgebracht wird oder dadurch, dass das Niveauverhältnis zwischen Land und Meer sich ändert. Die Erforschung des Problems, welche Ursache in letzterm Falle zu Grunde liege, ob die Aenderung in einer Bewegung des Weltmeeres oder in einer vertikalen Verschiebung des Festlandes beruhe, und welche tellurische oder kosmische Vorgänge zu der einen oder der andern Bewegung Anlass geben, ist nicht unmittelbar Aufgabe des Reisenden. Dieselbe besteht darin, Thatsachen zu sammeln, deren vergleichende Betrachtung zur Lösung jener Fragen beitragen kann.

Die Ursache der Erscheinung wurde zuerst in Aenderungen des Meeresstandes gesucht. Dann wurde für ein halbes Jahrhundert diese Erklärung fast vollständig zurückgedrängt. Hebung und Senkung des Bodens wurden beinahe ausschliesslich als die eigentlichen Motoren angenommen. Das Problem trat

durch die Forschungen über die durch Attraktion der Festlandsmassen beeinflusste Gestalt des Meeresspiegels vor kurzem in eine neue Phase. Es scheint, dass die Vorgänge komplex sind, und dass es eine Reihe von Ursachen für die Niveauschwankungen giebt, unter denen die folgenden sich erkennen lassen:

1) Jede Aenderung in der Verteilung der Festlandsmassen in der Nähe der Küsten übt durch das veränderte Moment der Attraktion einen unmittelbaren Einfluss auf den Stand des Meeresspiegels aus. Wenn aus dem Innern eines Kontinents kommende Ströme Sedimentmassen auf seichtem Meeresboden an der Küste ablagern, oder wenn Meeresströmungen solche nach einer Stelle der Küste hintragen (§ 158), so wird dort die Anziehung vermehrt; das Meeresniveau steigt, die Küste rückt landeinwärts und scheint zu sinken. — Faltige Gebirgsstauung muss in den Epochen, als sie intensiv war, bedeutende positive, Absenkung oder normale Verwerfung hingegen bedeutende negative Strandverschiebung bald über grössere Regionen, bald in sehr lokalisierter Weise bewirkt haben: diese Ursache kommt jetzt in nicht bemerkbarem Grade zur Geltung. — Die Aufhäufung vulkanischer Ausbruchsmassen muss die Attraktion in unmittelbarer Nachbarschaft vermehren, den gleichen Effekt, wiewohl sehr langsam, wird das Emporwachsen von Korallenriffen ausüben. — Gewaltige Wirkung übt eine auf ein Küstenland aufgesetzte mächtige Eiskappe, indem sie das Meer heraufzieht; ihr Abschmelzen hat das Zurückweichen des letztern zur Folge. Es sind durch diesen Vorgang in erfolgreicher Weise die zahlreichen Strandterrassen der polaren Gegenden erklärt worden (durch Penck). — Das Abrasionsphänomen (§ 161) muss mit erheblichen Versetzungen des Meeresstandes verbunden sein. Werden mächtige Gebirge abgetragen, so wird ihre Ablagerung in Gestalt transgredierender Trümmermassen vielleicht örtlich erhöhend auf die Attraktion wirken, werden sie fortgetragen, so muss die Attraktion vermindert werden. Dies ist in früheren Perioden der Erdgeschichte von hervorragender Wichtigkeit gewesen.

2) Die bezeichneten Aenderungen, welche teils in geringer Ausdehnung stattfanden, teils, wie die Anziehung des Meeres durch die polaren Eiskappen in der Glacialzeit, grosse Erdräume erfassten, mussten mittelbar den Stand des Weltmeeres in seiner Gesamtheit beeinflussen. Eine stärkere Anziehung nach einem

der Pole musste beispielsweise eine Erniedrigung des Meeresspiegels über den Rest der Oceane mit sich führen.

3) Den letztern Effekt musste in noch viel allgemeinerer Weise die Umsetzung eines grossen Teiles des Wassers der Weltmeere in Polareis und Inlandeis überhaupt mit sich bringen, während nach der Glacialperiode, gleichzeitig mit der durch Attraktionsverminderung veranlassten Erniedrigung des Meeresniveaus in den Cirkumpolargebieten, die Rückverwandlung grosser Eismassen in Wasser ein Steigen des Meeres in den subtropischen und tropischen Zonen hervorbringen musste.

4) Es scheint, dass in gewissen, sehr langen Perioden infolge der Veränderlichkeit der Stellung der Erdachse zur Ekliptik, der Präzession der Aequinoktien und anderer mit Variationen in der Erdbahn zusammenhängender kosmischer Ursachen, eine geringe Umsetzung der Gewässer nach dem einen oder dem andern Pole hin stattgefunden hat. Diesem Faktore ist übermässige Bedeutung beigelegt worden. Genauere Berechnung des Effektes hat dieselbe auf ein bescheidenes Mass herabgesetzt; doch sind vollkommen sichere Ergebnisse noch nicht erreicht.

5) Ist schon durch das Nebeneinanderwirken der genannten Ursachen das Phänomen sehr komplex, indem jede Aenderung in der Küstenlinie einer Gegend nicht nur örtlich das Attraktionsmoment ändert, sondern auf alle anderen Küsten zurückwirkt und hier ebenfalls eine endlose Menge wenn auch oft unendlich kleiner Aenderungen veranlasst, so kommen hierzu die Niveauschwankungen des Landes. Sie entziehen sich der Wahrnehmung, weil dem Effekte entweder eine wirkliche oder eine scheinbare Bewegung des Landes zu Grunde liegen kann, aber dass sie eine bedeutende Rolle spielen, ist mit Sicherheit der geologischen Beobachtung in Kombination mit der jetzigen Fortdauer der gleichen Kraftwirkungen, wenngleich zum Teile in sehr geringem Masse, zu entnehmen. Jede Zusammenfaltung von Gebirgen, jede grosse Verwerfung, jede Versenkung von Erdräumen zur Seite von Bruchrändern, welche Felsküsten begrenzen, und andere tektonische Vorgänge bieten unwiderlegliche Beweise. Die dynamische Geschichte der Erdrinde setzt sich aus Niveauschwankungen zusammen, welche nur zum Teile auf Rechnung der Aenderungen des Meeresspiegels geschrieben werden können. Aber gerade gegen die vor kurzem am wenigsten bezweifelten Schwankungen, nämlich die langsamen Hebungen und Senkungen grosser Erdräume, sind in neuerer Zeit begründete

Bedenken erhoben worden. Sollten sie dennoch Bestand haben, so wird es nicht leicht sein, sie in ihr Recht einzusetzen, weil die Erscheinungen so verwickelt geworden sind.

In Anbetracht der nachweisbaren bedeutenden Rolle, welche die Schwankungen des Meeresspiegels in den Aenderungen des relativen Standes von Meer und Land spielen, ist es nicht mehr statthaft, die früheren Ausdrücke Hebung und Senkung anzuwenden. Wir bedienen uns der von Eduard Suess eingeführten, eine Erklärung nicht involvierenden Bezeichnungen:

positive Verschiebung der Strandlinie für das, was man früher als Senkung des Landes, und

negative Verschiebung der Strandlinie für das, was man als Hebung des Landes bezeichnete.

Es kann hier nur darauf ankommen, dem Küstenbewohner und dem Reisenden Fingerzeige dafür zu geben, welche Anzeichen für die eine und die andere Art der Küstenveränderung sprechen. Auf dem Wege der Kombination lassen sich oft noch manche Argumente gewinnen, welche in jedem einzelnen Falle verschieden sind und dem Scharfsinne des Beobachters überlassen bleiben müssen.

a. Kennzeichen einer negativen Verschiebung der Strandlinie.

§ 168. Wenn man Spuren der ehemaligen Anwesenheit des Meeres in einem höher als die jetzigen Küsten gelegenen Niveau findet, so hat man anzunehmen, dass entweder das Meer sich zurückgezogen oder das Land sich gehoben oder beides stattgefunden hat. Es muss indessen sorgfältig zwischen den Anzeichen, dass das Meer überhaupt irgend einmal in höherm Niveau gestanden hat, und den Beweisen für ein Fortsetzen der negativen Verschiebung innerhalb der historischen und der gegenwärtigen Zeit unterschieden werden. Denn im erstern Falle stellt der vertikale Unterschied zwischen dem ehemaligen und dem jetzigen Meeresstande nur die Resultante aus allen Verschiebungen dar, welche in der Zeit zwischen dem einen und dem andern stattgefunden haben. Diese Verschiebungen können einen oscillierenden Charakter gehabt haben, d. h. bald negativ, bald positiv gewesen sein; nur wird der Ausschlag in ersterm Sinne erfolgt sein.

Zu den allgemeinen Kennzeichen gehören:

1) Die alten Strandterrassen. Es wurde in § 160 dargestellt, dass ausgebildete Brandungsterrassen zurückbleiben

können, wenn nach einer Periode stationären Standes der Strandlinie eine negative Verschiebung derselben eintritt. Sie finden sich besonders an höher aufragenden Felsküsten. An ihnen zeichnet sich ein alter Strand als eine mehr oder weniger ausgeprägte Stufe, welche in annähernd gleichbleibender Höhe über dem Meere eine sich lang hinziehende Unterbrechung in der Stetigkeit der Küstenabfälle bildet. Leichte Schneebedeckung lässt dieselbe deutlicher hervortreten. Zuweilen sind mehrere Terrassen übereinander angeordnet. Es ist besonderer Wert darauf zu legen, eine und dieselbe Terrasse in ihrem Verlaufe zu verfolgen und ihre Höhe über dem Meere in einzelnen Teilen sehr genau zu bestimmen. Sind mehrere Stufen vorhanden, so sollte auf alle dieselbe Sorgfalt verwendet werden. Es ist besonders darauf zu achten, ob die von ihnen dargestellten Niveauflächen sowohl untereinander, als mit der jetzigen Niveaufläche des Meeres parallel sind, und ob die Abweichungen vom Parallelismus in der Längsrichtung der Küste oder gegen das Innere des Landes stattfinden. Diese Messungen sind von erhöhtem Interesse, wo ein Golf oder ein Fjord tief in das Land eingreift, und sollten alsdann vom Ausgange gegen das Innere hin fortgeführt werden. Die Terrassen kennzeichnen sich zuweilen durch Reste der an dem ehemaligen Strande angehäuften Tange oder Muscheln. An Felsen geben manchmal ansitzende Balanen und Löcher von Bohrmuscheln untrügliche Kennzeichen.

Auf sandigem Boden sind Strandterrassen in der Regel nicht ausgebildet; in weichem Gesteine haben äussere Agentien häufig ihre Spur vertilgt. Aber die frühere Anwesenheit des Meeres in einer gewissen Höhe macht sich durch Ansammlung von Treibholz, durch Anhäufung von Gesteinsstücken, die von einem ehemaligen Strandwalle oder von gestrandeten Eisbergen herrühren können, durch Knochen von Walrossen und andere Merkmale kenntlich.

2) Wo Flüsse an einer Steilküste des Meeres oder an den Wänden einer tiefen Bucht oder in tiefen Binnenseen münden, lagern sie Schuttkegel ab (s. § 84), auf deren Höhe sich das fliessende Gewässer deltaartig ausbreitet. Zieht das Meer sich zurück oder erniedrigt sich der Spiegel eines Landsees, so schneidet der Fluss einen Kanal in den alten Schuttkegel und wirft, sobald ein stationärer Zustand eintritt, einen neuen Schuttkegel in tieferer Lage auf. In dieser Weise können mehrere Schuttkegelterrassen aufeinander folgen. Sie geben im

Innern von Fjorden eine erwünschte Ergänzung zu den in den äusseren Teilen vorhandenen Brandungsterrassen. Die erwähnten Marken von Balanen und Bohrmuscheln können einen Anhalt für die Verfolgung der Linie des alten Meeresstandes in den Zwischenräumen gewähren. Diese Art von Terrassen haben noch grössere Bedeutung an den Umrandungen ehemaliger Binnenseen und Binnenmeere, besonders wenn dieselben abflusslos waren und eingedampft sind. Die physische Geschichte der grossen centralasiatischen Becken wird sich an ihrer Hand ergründen lassen (s. § 122).

3) Es ist wahrscheinlich, dass ähnliche, aber weit ausgedehntere Stufenbildungen dort hervorgebracht werden können, wo an den Küsten des offenen Oceans Sedimente durch Meeresströmungen in der in § 158 auseinandergesetzten Weise in grosser Breite dem Lande angesetzt worden sind und das Meer sich nach einem tiefern Niveau zurückzieht. Solche Sandterrassen und Schlammterrassen sollten gewöhnlich Reste mariner Tiere und Pflanzen enthalten. Doch muss man sich hier hüten, die durch das Setzen der weichen Sedimente (s. S. 185) veranlassten Stufen damit zu verwechseln.

4) Korallenbänke und Korallenriffe, bei denen nicht nur der bedeckende Trümmersand (s. § 182), sondern Korallenstöcke selbst über das Niveau der höchsten Flut aufragen, waren früher vom Meere bedeckt. Der aus den stattgehabten Bewegungen resultierende Betrag negativer Verschiebung der Strandlinie lässt sich bei ihnen genau feststellen. Sie sollten in tropischen Gegenden, besonders auf Inseln, stets sorgfältig beachtet und nach Höhenverhältnissen gemessen werden. Der Wert der einzelnen Zahl wird bedeutend erhöht, wenn in Nachbargebieten viele ähnliche Messungen ausgeführt werden, indem dadurch ein Vergleichungsresultat ermöglicht wird.

5) Sichere Kennzeichen bei Flachküsten sind ferner Dünenreihen, welche den Stranddünen mehr oder weniger parallel gerichtet und in einigem Abstande von ihnen binnenwärts gelegen sind. Ferner Austernbänke, Muschelbänke und Ansammlungen von Schaltierresten überhaupt. Doch ist betreffs der letzteren Vorsicht erforderlich. Sturmfluten versetzen die Muschelreste und Tange der Küste oft weit in ein flaches Land hinein, bis zu beträchtlicher Höhe über dem Meeresspiegel, und das Gleiche wird zweifellos durch Erdbebenfluten in noch höherm Masse bewirkt. Schaltiergehäuse werden auch in

vielen Fällen durch Menschenhand landeinwärts transportiert. Man wird den Ursprung leicht erkennen, wo grössere Ansammlungen durch die Verwendung zum Kalkbrennen oder zu Mahlzeiten (wie bei den Kjökkenmöddinger) übriggeblieben sind. Aber es kommt auch (z. B. an den Küsten von China) vor, dass muschelhaltiger Meeresschlamm auf die Felder geführt wird. Man ist dann einer Täuschung leicht ausgesetzt.

6) Starker Gehalt an Kochsalz und anderen Meeressalzen in dem der Küste zunächst gelegenen Schwemmlande deutet stets darauf, dass dieses in nicht weit zurückliegender Zeit Meeresboden gewesen ist. Analog verhält es sich betreffs der Umrandung salziger Binnenseen.

7) Auch die allgemeinen morphographischen Verhältnisse der Küstenländer können als Argumente für eine negative Verschiebung der Strandlinie herangezogen werden. Wo immer klippige Felsabstürze, welche den Charakter von Steilküsten haben, durch einen flachen Streifen sandigen oder felsigen Vorlandes von der äussersten Grenzlinie der Brandungswirkung getrennt werden, hat man anzunehmen, dass ehemals die vordringende Brandungswelle vermittelst der Abrasion die Fläche geschaffen und sie mit Sedimenten bedeckt hat (§ 161), und dass dann ein Rückzug des Meeres erfolgt ist.

8) Die bisher genannten Kennzeichen sind allgemeiner Art. Es kommt nun noch darauf an, zu untersuchen, ob die negative Strandlinienverschiebung in historischer Zeit oder überhaupt seit dem Dasein des Menschen in der betreffenden Gegend stattgefunden hat und ob sie sich gegenwärtig vollzieht. Ersteres wird sich erweisen lassen, wo man neben den sonstigen Kennzeichen eines binnenländisch gelegenen alten Strandes Schiffstrümmer und andere Werke menschlicher Hand ausgeworfen findet, oder wo in einer den gegenwärtigen praktischen Gebrauch ausschliessenden Höhe über dem Meeresspiegel Haken und Ringe zum Befestigen von Schiffen angebracht sind oder (wie im westlichen Kreta) Hafenbauten sich befinden.

9) Ob die negative Verschiebung noch fortdauert, wird man zunächst durch Erkunden bei den Bewohnern zu erfahren suchen. Wo sie stattfindet, wissen dieselben von der Trockenlegung ehemaliger Ankerplätze, von dem Bestehen von Feldern und Wiesen an Stelle ehemaliger Fischereiplätze, von dem Landfestwerden von Felsriffen u. s. f. zu erzählen. Leuchttürme rücken landeinwärts, und ehemalige Hafenstädte werden durch

Flächen von Sand und Schlamm vom Meere getrennt. Noch grössere Sicherheit erhält man, wo man alte Aufzeichnungen und Chroniken zu Rate ziehen kann. Doch muss man sich in allen diesen Fällen vor vorschnellen Folgerungen hüten und genau untersuchen, ob die Ursache des Landzuwachses wirklich in einer Aenderung des Vertikalverhältnisses von Land und Meer und nicht vielmehr in der Anschwemmung fester Stoffe durch die vereinigte Thätigkeit von Flüssen und Meer liegt, wie in dem Falle der friaulisch-venezianischen Küste des adriatischen Meeres und (nach Reyers Forschungen) mehrerer Stellen an den Maremmaküsten von Toscana.

10) Die Gestalt der Küstenlinie und der Flussmündungen wird ebenfalls Aufschluss über die Art der gegenwärtigen Bewegung zu geben vermögen. Wenn man sich vergegenwärtigt, dass überall, wo Meeresboden und Festland aus beweglichem Materiale bestehen, die an dem erstern wirkenden Agentien auf ebenflächige Ausbreitung, die auf dem Festlande thätigen auf Differenzierung der Bodengestalt hinwirken, so ist es klar, dass die Küstenlinie des sich zurückziehenden Meeres einfache, diejenige des vordringenden Meeres komplexe Formen anzunehmen bestrebt sein wird. Eine im kleinen ausgebuchtete Flachküste wird daher in der Regel auf gegenwärtige Fortdauer positiver, eine einfach gestaltete auf das Fortschreiten negativer Strandverschiebung hindeuten, gerade wie ein vom Winde bewegter Tümpel, der sich durch einströmendes Wasser in einem von Wagenspuren durchfurchten Boden bildet, bei dem Vordringen in alle Furchen eingreift, beim Zurückweichen aber wegen der inzwischen erfolgten Umlagerung von einfachen Linien umrandet wird. Indessen gilt dies bei dem Meere nicht allgemein, da auch der flache Meeresboden wellige Erhöhungen hat, die bei dem Rückzuge zu Sandbänken und Inseln gestaltet und nachher nicht selten durch eine schmale Landzunge mit dem Lande vereinigt werden. Solche Sand- oder Schlammwellen pflegen langgedehnt und der Küste parallel zu sein und sind dadurch kenntlich. Die Unebenheiten des Landes hingegen sind, der Richtung der abfliessenden Gewässer entsprechend, in der Regel ungefähr rechtwinklig zur Küstenlinie gerichtet; daher greift das Meer in entsprechend gestalteten Buchten ein. Wo aber keine fliessenden Gewässer vorhanden sind und der Wind die Unebenheiten veranlasst hat, können diese ebenfalls langgedehnte, der Küste parallele Formen haben. Es ist daher dieses Moment

mit Vorsicht anzuwenden, und es sollte gleichzeitig auf andere Merkmale geachtet werden. Betreffs der Flussmündungen giebt es ziemlich sichere Kennzeichen für positive, weniger zuverlässige für negative Verschiebung. Letztere wird in allen Fällen anzunehmen sein, wo ein sedimentarmer Fluss in einem vorgeschobenen Delta mündet.

b. Kennzeichen positiver Strandverschiebung.

§ 169. Insoweit sich die Untersuchung auf die Thätigkeit des Meeres gründet, ist die positive Strandlinienverschiebung schwierig wahrnehmbar oder doch nur auf die Stätten der in der jüngsten Vergangenheit stattgehabten Meeresarbeit beschränkt, da die Spuren der frühern unter dem Meere verborgen liegen. Die Beobachtung wird also hier mit dem speziellern Verhältnisse beginnen.

1) An manchen Küsten ist die historische Ueberlieferung reich an Thatsachen, welche für ein Vordringen des Meeres sprechen. Bauwerke und ganze Ortschaften sind versunken, ihre Reste zuweilen noch unter dem Wasser erkennbar, ebenso wie die Baumkronen untergetauchter Wälder. Die Bewohner oder Chroniken aus älterer Zeit berichten von dem Verschwinden von Wiesen und Feldern unter dem Meerwasser. Es ist jedoch hierbei, wie die kritische Sichtung des bezüglich des angeblichen Sinkens der Nord- und Ostseeküsten vorliegenden Materials ergeben hat, dreierlei zu prüfen: erstens die Glaubwürdigkeit der Ueberlieferung in solchen Fällen, wo sie durch Beobachtung nicht gestützt wird, dann die Frage, ob das Vordringen des Meeres nicht bloss eine Folge der ohne Niveauveränderung stattgehabten Küstenzerstörung, z. B. durch Sturmfluten, ist, und endlich, ob nicht die Erscheinung, falls die Thatsachen sich als richtig erweisen, nur ein örtlich beschränktes Phänomen ist. Es kann beispielsweise an Flussanschwemmungen und Deltagebilde gebunden, von den Erscheinungen an benachbarten Felsküsten, welche vielleicht die umgekehrte Verschiebung zeigen, durchaus unabhängig und allein durch das Zusammensinken der lockeren Sedimentmassen bewirkt sein. In diesem Falle sind die einschlägigen Erscheinungen sorgfältig zu sammeln; aber man muss sich hüten, die angrenzenden Küstenstriche als „Senkungsküsten" zu bezeichnen, ehe sie als solche erwiesen sind.

2) Andere, anscheinend sichere Kennzeichen beziehen sich auf grössere Tiefen unter der Oberfläche, indem man bei Brunnengrabungen und anderen Erdarbeiten in einem

unter dem Meeresspiegel gelegenen Niveau auf menschliche Artefakte und Bauwerke, auf Torfmoore oder auf Schichten mit Landschnecken, Knochen von Landsäugetieren und Resten von Landpflanzen stösst. Da sich indes auch diese Funde auf das Schwemmland beschränken, so ist ihr Wert ebenso bedingt, wie derjenige der vorher genannten Beobachtungen. An einer Küste, an welcher Brandungswirkung stattfindet, können solche Reste sich nur in den durch Versenkung in tiefere Lage gekommenen Sedimenten der Flüsse befinden, weil die allmählich vordringende Brandungswelle sie zerstören würde. Beweise für eine positive Verschiebung der Strandlinie können sie daher nur dann bieten, wenn die Fundstellen in geschützten Buchten oder in brandungslosen Meeresteilen liegen, und auch dann kann die genannte Schlussfolgerung in einiger Allgemeinheit nur gezogen werden, wenn alle an vielen Orten gesammelte Thatsachen auf eine gleichartige Verschiebung entlang einer ausgedehnten Küste sprechen.

3) Grössere und allgemeinere Beweiskraft ist der vorsichtigen Anwendung morphographischer Merkmale beizumessen. Es wurde eben erwähnt, wie die feine Gliederung einer Flachküste auf positive Verschiebung hindeutet, indem das Meer zwischen die kleinen ausspringenden Teile in Buchten eingreift und Flachgründe hinter natürlichen Aufdämmungen überflutet.

4) Wo die Brandungswelle an einer Felsküste arbeitet, und über dem Niveau der Flut eine vormalige Einwirkung nicht erkennbar ist, wird entweder ein stationärer Zustand oder eine positive Verschiebung anzunehmen sein. In letzterm Falle werden die Felsabstürze abgebrochen, im erstern in der Regel durch äussere Einflüsse bis zum Flutniveau abgeflacht oder abgedacht sein. Die Annahme fortdauernder positiver Verschiebung gewinnt an Sicherheit, wenn ein zur Flutzeit bedeckter Abrasionsstrand an eine abstürzende Felswand grenzt (§ 161). An Küsten, welche an Buchten und Inseln reich sind, wird stellenweise die Abrasion verhindert. Wenn sich dann (wie im Tschusan-Archipel und an der benachbarten chinesischen Festlandsküste) Schlammbänke ausbreiten, welche zur Flutzeit gerade vom Wasser bedeckt, zur Ebbezeit trockengelegt werden, so hat man es sicherlich mit einer noch obwaltenden positiven Verschiebung zu thun; denn der geringste Rückzug des Meeres würde die höheren Teile der Bänke trockenlegen, ein Stillstand sie successive landfest werden

lassen. Die inselumlagerte Westküste von Korea scheint dieses Merkmal in noch ausgedehnterer Weise zu bieten.

5) Nicht minder sichern Anhalt geben die Flussmündungen. Ihre Kanäle sind nicht durch das Meer, sondern durch die Flüsse gegraben. Sind sie vom Meere ausgefüllt, so hat daher dieses durch Vordringen Besitz von denselben genommen. Nach dem Masse, in welchem dies geschehen ist, wird sich die Grösse des Betrages ermessen lassen, welchen die positive Verschiebung seit der Zeit des Aushöhlens der Mündungskanäle insgesamt als Resultante aller positiven und negativen Bewegungen erreicht hat. Von diesem Gesichtspunkte kommten die Fjordküsten (§ 139), die Riasküsten (§ 141), diejenigen vom dalmatischen und vom Limantypus (§§ 140, 142) als solche bezeichnet werden, an welchen eine positive Strandverschiebung stattgehabt hat. Es schliessen sich daran in zweiter Linie Beobachtungen zum Zwecke der Konstatierung, ob nicht in den jüngsten Epochen die Bewegung vorherrschend eine entgegengesetzte gewesen ist, wie es bei fast allen Fjordküsten der Fall zu sein scheint.

Wo Flüsse eine einfache Deltamündung haben, ist innerhalb der letztern häufig ein Vordringen des Meeres nachweisbar, welches, wie gesagt, durch Zusammensinken der Sedimente erklärbar sein kann, während von den angrenzenden Küstenstrecken das Meer zurückweicht. Wie aber durch diesen Vorgang die Deltabildung nicht ausgeschlossen ist, so scheint sie auch an Küsten stattfinden zu können, bei welchen positive Verschiebung in grösserer Ausdehnung stattfindet, vorausgesetzt, dass die Bedeckung der untergetauchten Teile mit Sedimenten mindestens dem Sinken das Gleichgewicht hält. Es kann aber jenes bei sedimentreichen Flüssen noch schneller geschehen als dieses, und dadurch trotz des Sinkens ein stetiges Anwachsen der Sedimentfläche, falls die Strömungen sie gestatten, stattfinden.

6) Inwieweit das Fortwachsen der Korallenbauten einen Beweis und ein Mass für das Sinken des Landes oder die positive Strandlinienverschiebung darbietet, wird an einer andern Stelle (§ 184) erörtert werden.*)

*) Eine ausführliche Darlegung der Strandverschiebungen an den verschiedenen Küsten hat Dr. F. G. Hahn in seiner Abhandlung „Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten“ (Leipzig 1879) gegeben. Es ist zu beachten, dass sie vor der Aenderung der Ansichten über die zu Grunde liegenden Bewegungen geschrieben worden ist.

H. Mechanische Wirkungen der Meeresströmungen.

§ 170. Es ist bereits (§ 158) einer Funktion der Küstenströmungen gedacht worden, welche darin besteht, die Sedimente der Flüsse fortzutragen und durch ihren Absatz zur Abrundung der Küsten beizutragen. Da heftige Wellenbewegung den Grund eines Flachmeeres erfasst (§ 149), so werden die Strömungen auch von da her Material zum Transporte erhalten. Bei starker Bewegung kann die fortschaffende Kraft so bedeutend sein, dass jede Ablagerung im Bereiche der Strömung selbst verhindert wird, wie dies das in grossen Strecken anstehende Gestein am Boden des Kanals zwischen Frankreich und England beweist. Der weit tiefer liegende Boden des Floridastromes ist (nach Verrill) in der Tiefe von 150—600 m und in der Entfernung von 100—200 km von der Küste mit feinem Sande (meist Quarz, etwas Feldspat, Glimmer, Magnetit etc.), Bruchstücken von Schaltiergehäusen, Korallen und Rhizopoden bedeckt. Feiner Schlamm fehlt und ist selbst in Tiefen bis 1000 m spärlich vorhanden; er scheint daher durch die Strömung fortgetragen zu werden.

Eine andere über die Transportkraft der Strömungen hinausgehende Frage, über welche es beinahe vollständig an Untersuchungen mangelt, betrifft die Erosionskraft der Strömungen. Angesichts der Offenhaltung von Meeresstrassen, wie der Meerengen von Gibraltar, Bosporus und Dardanellen, und mancher Wege zwischen Inseln, wird es wahrscheinlich, dass Strömungen erodierend wirken. Als sicher lässt es sich annehmen, dass sie das gelockerte feine Korn von den Wänden solcher Tröge forttragen; als wahrscheinlich kann es bezeichnet werden, dass die Korrasion eine nicht unbedeutende Rolle spielt. Mag dieselbe auch in jedem einzelnen Zeitpunkte noch so gering sein, so werden doch Küstenströmungen, welche feinen Detritus mit sich führen, durch die Stetigkeit und lange Dauer ihrer Einwirkung eine abschleifende Arbeit ausführen müssen, auch wenn die Seiten des Troges zum Teile aus festem Gesteine bestehen.

I. Wirkungen der Erdbebenfluten.

§ 171. In einem an geistvollen Winken überaus reichen neuen Werke*) ist der Beweis versucht worden, dass die mit heftigen

*) Ed. Suess, Das Antlitz der Erde, I.

Erdbeben nach den bisherigen Annahmen zuweilen verbunden gewesenen „Hebungen des Landes“ auf einem Anwachsen des letztern mittelst einer sich schnell vollziehenden Umsetzung der Stoffe des seichten Meeresbodens beruhen. Der Erdbebenstoss in Verbindung mit dem Stosse der zurückkehrenden hohen Erdbebenwelle (§ 152) scheinen diese Wirkung auszuüben. Die Thatsachen liessen sich nur ungenügenden älteren Aufzeichnungen entnehmen. Beobachtungen von dem neu gewonnenen Gesichtspunkte sind daher in hohem Grade erwünscht. Heftige Erdbeben, wie sie sich an der Westküste von Südamerika zuweilen ereignen, oder mit Erschütterung verbundene vulkanische Ausbrüche, wie derjenige des Krakatau, geben dazu Anlass. Die Untersuchungen lassen sich auch nach der Zeit solcher Katastrophen mit Hülfe sehr genauer Seekarten ausführen. Da jene Bewegungen nur schwache Nachwehen der Erschütterungen sind, wie sie sich in den Epochen der grossen Gebirgsaufrichtungen und der grossen vulkanischen Ausbrüche der tertiären Vorzeit vollzogen haben, so könnte die genaue Untersuchung des Vorganges Licht auf frühere Vorgänge werfen.

Zehntes Kapitel.

Beobachtungen bei Seefahrten.

Es bedarf an dieser Stelle keiner besonderen Anweisungen § 172.
für diejenigen, welche eine jener wissenschaftlichen Expeditionen zur See begleiten, die, nach dem Vorgange des „Challenger", der „Gazelle" und anderer ähnlicher Unternehmungen, den Zweck verfolgen, die Physik des Meeres, sowie das tierische und pflanzliche Leben in demselben zu erforschen. Von den Teilnehmern an solchen Reisen und an anderen von minder grosser Anlage kann vorausgesetzt werden, dass sie eine sehr vollkommene Vorbereitung besitzen und ihre Aufgaben besser kennen, als sie hier dargestellt werden könnten. Ebenso sind in gegenwärtiger Zeit die Befehlshaber und Offiziere der Kriegsschiffe grösstenteils und eine nicht unbeträchtliche Zahl der Leiter von Kauffahrteischiffen mit den Methoden der wichtigsten Beobachtungen über die Erscheinungen des Meeres in seinen Oberflächenteilen vertraut. Angesichts der grossen Menge darauf bezüglicher Messungen und Wahrnehmungen, welche fortdauernd in nautischen Zeitschriften registriert werden, erscheint es kaum erforderlich, sie dem Reisenden, welchem sich in gegenwärtiger Zeit nur selten und verhältnismässig unvollkommen Gelegenheit zu ihrer Anstellung bietet, besonders anzuempfehlen und im einzelnen auseinanderzusetzen. Er eilt meist flüchtig auf Dampfschiffen über die Meere hin und benutzt sie nur als Mittel zu schneller Ortsveränderung, um das zur Erforschung erwählte Land zu erreichen. Wer sich des Segelschiffes bedient, wird die reichlicher dargebotene Zeit gern zu mancherlei Beobachtungen verwerten, und sie können ihm für einzelne Meeresteile oder einzelne Phänomene hinreichendes

Interesse beibringen, um ihn zu veranlassen, später alles darauf bezügliche Material zu sammeln und aus dessen Vergleichung Ergebnisse abzuleiten.

Es sollen daher hier nur solche Gegenstände erörtert werden, welche sich, ausser den im vorigen Kapitel behandelten morphologischen Verhältnissen der Küsten und der an ihnen stattfindenden dynamischen Vorgänge, dem Reisenden einerseits bei kleinen Segelfahrten in der Nähe der Küsten oder in einem Archipel, andererseits an den Stationen des offenen Oceans, den Inseln, zur Untersuchung darbieten. Es handelt sich um die Erforschung der Inseln und der leichter zugänglichen Teile des Meeresbodens. Nur in betreff einzelner Fragen, für deren Verständnis diese Beschränkung nicht hinreicht, sollen allgemeinere Verhältnisse berührt werden.

A. Beobachtungen an Inseln.

§ 173. Eine Insel ist eine in dem Relief der Oberfläche der festen Hülle des Planeten aufragende Anschwellung, welche bis zu einer gewissen, durch den augenblicklichen Stand des Meeres bestimmten Niveaufläche von dem Oceane in engerer Begrenzung umhüllt wird und infolge ihrer räumlichen Lage zu den grossen, zusammenhängenden Anschwellungen der Kontinente, sowie des Verhältnisses ihrer Höhe zu deren Höhe, eine mehr oder weniger gesonderte Stellung einnimmt. Um die Insel morphographisch zu kennen, muss man daher die Gestalt des vom Meere bedeckten, ebenso wie diejenige des in den Luftocean ragenden Teiles zu bestimmen suchen. Tiefe und Form des Meeresbodens weisen entweder auf einen engern Zusammenhang mit anderen Anschwellungen oder auf eine Sonderung von denselben. Für die morphologische Erforschung ist die Insel ein Stück Festland; denn ihr bietet sich nur der über dem Meere gelegene Teil dar. Es gelten daher für sie alle darauf bezüglichen, in anderen Teilen dieses Buches enthaltenen Erörterungen, d. h. man kann ein Verständnis für den physischen Charakter einer Insel nur aus der Kombination aller Beobachtungen über Gestalt, Zusammensetzung, innern Bau, stattgehabte dynamische Einwirkungen aller Art und vormalige oder noch fortschreitende Aenderungen in dem relativen Stande des Meeres und seiner mechanischen Thätigkeit erhalten.

Die Begrenzung durch das Meer in engem, oft ausserordentlich kleinem Umkreise hat einen andern, mit der Insel-natur eng verbundenen Umstand zur Folge. Dies ist die isolierte Existenz der organischen Welt. Da aber die Inseln wandelbare Gebilde sind und hinsichtlich der Grösse ihrer Bodenfläche von der in jedem einzelnen Erdraume sehr veränderlichen Grösse des relativen Standes der Meeresfläche zum Festlande abhängen, daher auch zeitweilig eine supramarine Verbindung mit anderen Inseln oder mit grösseren Festländern erfahren können, um in anderen Perioden wieder losgelöst und vielleicht selbst für eine gewisse Zeit vom Meere überspült zu werden, so befindet sich auch die organische Welt unter sehr wandelbaren Verhältnissen, und sie erhält dadurch ein besonderes Interesse. Sind Fauna und Flora früher mit denjenigen des zunächst liegenden Festlandes infolge ehemaligen Zusammenhanges mit demselben identisch gewesen, so wirkt die Isolierung seit der Zeit ihres Eintrittes auf eine allmähliche Veränderung der Formen und eine Einschränkung ihrer Zahl ohne wesentliche Umwandlung des allgemeinen Typus hin. Verkleinert sich das Areal durch positive Küstenverschiebung, so unterliegen weitere Formen im Kampfe ums Dasein. An der auf dem Kontinente stattfindenden Fortentwicklung der organischen Welt kann die Insel nur insoweit teilnehmen, als sie von ihm gewisse Formen durch Meeresströmungen, Winde und herüberfliegende Vögel erhält. Andere Arten können ihr durch dieselben Mittel von entfernteren Festländern und Inseln zugeführt werden, und es können dadurch neue Elemente an Stelle der verschwindenden aufgenommen werden. Wird die Insel im Wechsel der Verschiebungen von Meer und Land zeitweise an einen andern Kontinent oder an eine Insel, welche einmal im Zusammenhange mit diesem gestanden hat, gebunden, so kann sie von demselben Lebewesen auf noch bequemerm Wege und in noch grösserer Menge aufnehmen und dem frühern Bestande hinzufügen; wird sie wieder von ihm getrennt, so werden die Veränderungen und Einschränkungen abermals beginnen. Unterliegt eine Insel vollständig der Abrasion, so werden Landpflanzen und Landtiere von ihr vertilgt. Taucht sie wieder als Insel auf, so werden unter Umständen neue Ansiedlungen auf ihr beginnen, aber sie werden nur durch die zufällige und sehr beschränkte Zufuhr von Pflanzensamen und Tieren entstehen. Auf dieselbe Herstammungsart der Organismen sind alle neuen Inseln an-

gewiesen, welche an Küsten oder im Weltmeere aus der Wasserfläche auftauchen, mag Rückzug des Meeres, Aufsteigen des Landes, Emporwachsen von Riffen oder vulkanische Thätigkeit die Veranlassung ihrer Entstehung sein.

Das Studium der organischen Welt auf Inseln gewinnt dadurch ein hohes Interesse für weitgreifende Fragen der physischen Geographie. Es hilft zum Verständnisse der Entstehungsgeschichte nicht nur der einzelnen Inseln selbst, sondern auch der benachbarten Kontinentalgebiete. Selbst die Kenntnis der Entwicklung der Kontinentalräume in vergangenen Epochen der Erdgeschichte erhält dadurch eine wesentliche Stütze. Wer Gelegenheit hat, sich der speziellern Erforschung von Inseln zu widmen, sollte nicht unterlassen, sich mit den Methoden der Betrachtung vertraut zu machen, welche A. R. Wallace zuerst in der Beschreibung seiner Reisen in dem malayischen Archipel zur Geltung gebracht und dann in seinem Werke: *Island Life* (London 1880) glänzend angewendet hat.

a. Einteilung der Inseln.

§ 174. Man hat die richtige Bemerkung gemacht, dass die Inseln sich zu den Kontinenten verhalten, wie die Landseen zum Oceane. Diese Analogie kann indes für die Einteilung nicht massgebend sein; denn bei einem See ist das Wichtigste die Entstehung des Beckens, zu welcher die Ausfüllung mit Wasser als sekundär erscheint. Die Genesis der aufragenden Felsmasse hingegen ist für die Inselnatur selbst nur in einzelnen Fällen von Belang; wesentlicher ist die Frage nach der morphologischen Zugehörigkeit zu einem Festlande oder der Unabhängigkeit von demselben. Hierin ist seit den ersten Versuchen einer Klassifikation der Inseln ein Motiv zu derselben gefunden worden. Daneben hat die Wichtigkeit des eben angedeuteten biologischen Gesichtspunktes dazu geführt, diesen als oberstes Einteilungsprinzip der Inseln zu wählen. Doch hat er seine, in der Betonung des genetischen Momentes beruhende Bedeutung in erster Linie für die biologische Geographie, und man kann ihm trotz seiner Wichtigkeit und seines hohen Interesses das gleiche Recht für die Klassifizierung von anorganischen Formgebilden nicht zuerkennen. Die gelegentliche Ueberspülung durch das Meer infolge einer geringen Strandverschiebung würde z. B. einer Insel nach ihrem Wieder-

erscheinen eine gänzlich verschiedene systematische Stellung zuweisen, als ihr vorher zugekommen war.

Wenn es gelänge, die Inseln nach einer Reihe bezüglich ihres Wertes abgestufter systematischer Prinzipien einzuteilen, so würden dadurch der Forschung von vornherein für jede Insel bestimmte Wege angewiesen sein. Doch ist eine Einteilung wegen der unvollkommenen Kenntnis über die Mehrzahl der Inseln gegenwärtig nur in unzureichender Weise durchführbar. Der nachfolgende Versuch soll lediglich dazu dienen, einige als wesentlich erscheinende Gesichtspunkte anzudeuten.*)

Weitaus das grösste Gesamtareal nehmen diejenigen Inseln ein, welche Teile des Grundbaues der Erdoberfläche darstellen. Die Oberfläche des Festen sondert sich in weite Vertiefungen, welche die grossen Becken der Oceane bilden, und in zusammenhängende Erhöhungen, welche teils als ausgedehnte Landmassen, teils in deren Nachbarschaft als Inseln auftragen. Man kann für diese den alten Namen „Kontinentalinseln" beibehalten.

Dem Grundbaue sind andere Gebilde parasitisch aufgesetzt. Zwar werden sie integrierende Bestandteile desselben, aber sie behalten doch den Charakter sekundärer und fremdartiger Massen. Sie ragen zum Teile für sich allein als Inseln auf, und diese können dann als parasitische Inseln bezeichnet werden. Hierher gehören die rein vulkanischen und die Koralleninseln. Wo jedoch Vulkan- und Korallenbauten den durch das Meer isolierten Festlandsteilen aufgesetzt sind, giebt der Grundbau das höhere Einteilungsprinzip. Nur wo dieses fehlt, können sie für die Klassifikation an erster Stelle verwendet werden.

Endlich kann das Meer in die kleinen Unebenheiten eingreifen, welche nicht in dem festen Baue der Erdoberfläche beruhen.

*) Die bisherigen Einteilungsversuche sind nebst der einschlägigen Litteratur in F. G. Hahns „Inselstudien" (Leipzig 1883) zusammengestellt worden. Dieses durch ausserordentlich fleissige und sorgfältige Darstellung der wichtigsten Kenntnisse über fast alle bemerkenswerten Inseln hervorragende Werk ist für jeden, der sich mit Inselforschung beschäftigen will, unentbehrlich. Der Mannigfaltigkeit der Erörterung, zu welcher die Behandlung sehr verschiedenartiger Inseln Anlass giebt, lassen sich eine Fülle von Gesichtspunkten für die Beobachtung im Einzelfalle entnehmen. Die Inseln sind in dem Werke nach einem neuen Prinzipe eingeteilt. Der auf morphologische Beobachtung gerichtete Zweck des vorliegenden Buches möge es rechtfertigen, wenn hier ebenso von der Einteilung in dem genannten Werke, als von anderen, teils mehr das genetische, teils das biologische Moment berücksichtigenden Einteilungen abgesehen wird.

sondern durch mechanische Umlagerung von Zerstörungsprodukten geschaffen werden. Sie geben zur Entstehung untergeordneter Inselformen Anlass.

1. Kontinentalinseln.

§ 175. Wenn ein Stück eines Kontinentes mit sehr unebener Oberfläche infolge fortdauernder positiver Strandverschiebung vom Meere überflutet wird, so löst es sich in Inseln auf, indem alle höheren Teile, insoweit sie nicht der Abrasion unterliegen, über die jeweilige Meeresfläche hervorragen. Würde ein Teil des gegenwärtigen Meeresbodens trockengelegt, so würden ebenfalls zuerst grosse Inseln erscheinen. Diese zwei verschiedenen Vorgänge würden zu trennen sein, wenn es Inseln der letztern Art in den grossen Meeren gegenwärtig gäbe. Dies ist jedoch nicht der Fall. Alle Inseln, welche Festlandsbau haben, scheinen sich aus den Sockeln der Kontinente zu erheben und integrierende Bestandteile von ihnen zu bilden. Der Verband mit denselben ist aber nicht von gleicher Art, und es lassen sich danach zwei Ordnungen unterscheiden, die unselbständigen und die selbständigen Kontinentalinseln.

1) Unselbständige Kontinentalinseln.

Dies sind durch Wasserumhüllung abgetrennte (irrig als „abgesprengt“ bezeichnete) Teile der Gebirgsstruktur des zunächst gelegenen Küstenlandes, und sie schmiegen sich diesem auch räumlich an. Je nach den Umständen, denen sie die Inselnatur verdanken, und der damit zum Teile im Zusammenhange stehenden Beschaffenheit der Küsten lassen sich unterscheiden:

a. Inseln, welche durch das Eindringen des Meeres in die Hohlformen des Landes entstanden sind. Man kann sie als Abgliederungsinseln bezeichnen. Der Einfluss dieses Vorganges auf die Küstengestaltung ist oben (§§ 138—142) dargestellt worden. Zu den bemerkenswertesten Folgen gehört die Abtrennung von Inseln, welche durch die vereinigte Wirkung der Strandverschiebung und der Brandung bewirkt wird. Nur diejenigen Erhöhungen, welche von der Zerstörung durch die Brandung nicht betroffen wurden, ragen als Inseln auf. Die Strandverschiebung kann nachher in die entgegengesetzte Richtung umgeschlagen sein; das wird nur die Verbindung einzelner Inseln untereinander und ihre Angliederung an das Festland zur Folge haben.

Es lassen sich eine Anzahl von Typen erkennen, welche denen der Einzelgliederung der Küsten entsprechen.

1) Riasinseln sind die Inseln der Riasküsten (§ 141): sie sind also wesentlich Abrasionsreste an gebirgigen Querküsten, bestehen meist aus festem Gesteine und treten gesellig auf, gewöhnlich in grosser Zahl. In der Regel sind sie von geringer Grösse, bis zu einzeln aufragenden Felsen herab, fallen steil und klippig nach einem Strande ab und sind unmittelbar von einem Meere von geringer Tiefe umgeben. Ihre Oberflächenformen über dem Stirnwalle der Brandung sind dieselben wie diejenigen der benachbarten Festlandsvorsprünge. Daher sind sie stets gebirgig, aber meist von schrofferen Formen als das Festland, weil die vordringende Abrasion den fliessenden Gewässern steiles Gefälle verleiht. Hierher gehören vor allem die Inseln an der chinesischen Küste, diejenigen an der Westseite von Korea und wahrscheinlich an der Westseite von Kiuschiu: ferner finden sie sich an den Küsten der spanischen Provinz Galicia, der Bretagne, des südwestlichen Irland und an denen von Schottland. Auch diejenigen an den Küsten von Neuschottland und Neufundland dürften, als an einer Querküste gelegen, hierher zu rechnen sein.

2) Abtrennungsinseln können diejenigen genannt werden, welche die Küsten vom dalmatischen Typus auszeichnen und durch das Eindringen eines in der Regel, aber keineswegs notwendig gezeitenlosen Meeres von geringer Brandungskraft in die Hohlformen des Festlandes hervorgebracht werden. Sie wiederholen die Oberflächenformen des letztern noch getreuer als die Riasinseln. Durch ihre Emporhebung bis über das Niveau des Grundes der trennenden Meeresarme hinaus würde der ehemalige Oberflächencharakter mit unwesentlichen Aenderungen wiederhergestellt werden, während bei Rias- und Fjordküsten die trennenden Räume eine sehr veränderte Gestalt haben würden.

3) Die Fjordinseln unterscheiden sich von den Riasinseln in ähnlicher Weise wie die beiden entsprechenden Küstentypen. Sie finden sich selten an Querküsten, sondern fast nur an querzerschnittenen und durchfurchten Längsküsten, und sind zum Teile selbst wieder von Fjorden durchschnitten und durch fjordartige Meeresarme voneinander getrennt. Mit den Abtrennungsinseln haben sie den Um-

stand gemein, dass das Ansteigen des Meeres in den Thalrinnen und über viele Passübergänge hinweg bei gehinderter Brandungswirkung geschah. Viele dadurch entstandene Inseln wurden im weitern Verlaufe des Vorganges unter das Meer versenkt. Da nachher an allen Fjordküsten wieder eine oscillierende Strandverschiebung mit negativem Gesamteffekte und zwar bei thätiger Brandungswirkung stattgefunden hat, so haben die versenkt gewesenen Inseln vielfache Umgestaltung erfahren; die überspülende Brandung hat eine flache Gestalt der Oberfläche, die an den Flanken arbeitende Meereswelle schroffe Abfälle geschaffen. Während bei den Riasinseln breite Brandungsterrassen und seichter Meeresboden charakteristisch sind, sind die ersteren bei den Fjordinseln meist schmal und unvollkommen, und es findet steiler Abfall in tiefes Meer statt. Fjordinseln sind meist in grosser Zahl vorhanden. Sie haben eine Tendenz zur Anordnung in Längsreihen, welche der Küste parallel sind, während die Riasinseln unregelmässig zu dieser gestellt sind und, wenn sie sich in Reihen ordnen, diese von der Küste hinaus in das Meer streichen. Der Gebirgsbau des Festlandes setzt in den Fjordinseln fort; aber der Festlandscharakter ist bei vielen durch die wiederholte Abspülung verändert.

4) Limaninseln sind durch Eingreifen des Meeres und zuweilen damit verbundene Brandungswirkung abgetrennte Teile von Schollenland und lassen daher keinerlei oder doch nur geringe Beziehung zu der Längsrichtung oder Querrichtung eines Gebirges erkennen. Sie kommen selten vor; denn Limanküsten sind wie diejenigen aller Tafelländer meist inselfrei. — Es schliessen sich diesem Typus als eine verwandte und doch besondere Form die Inselschwärme der schwedischen und finnischen Küsten und als eine dritte Form die cimbrischen Inseln an. Eine morphologische Verwandtschaft mit den letzteren hat, wie bereits bemerkt, der arktische Archipel von Nordamerika, welchem jedoch wegen seiner grössern orographischen Selbständigkeit eine andere Stellung angewiesen werden kann.

b. Den durch einfaches Vordringen des Meeres abgegliederten Inseln stellen wir die Bruchinseln gegenüber. Die Ursache der Meeresumschliessung beruht bei ihnen auf Einbruch. Die Inseln des ägäischen Meeres bestehen, wie insbesondere Neumayr

erwiesen hat, aus gebrochenen Stücken eines Gebirgslandes, dessen unmittelbare Fortsetzung sich in dem Baue der nächsten Festländer, Kleinasien und Balkanhalbinsel, erkennen lässt. Den gleichen Ursprung hat Emil Naumann für die Inseln des japanischen Binnenmeeres wahrscheinlich gemacht. Bei weiterer Untersuchung werden sich jedenfalls einzelne dieser Inseln als Horste ergeben, aber manche dürften durch Staffelbruch gebildet sein. Für Malta und Gozzo ist ein analoger Ursprung als möglich hinzustellen.

2) Selbständige Kontinentalinseln.

Eine grössere und wichtigere Klasse als die vorhergehenden bilden diejenigen, die Kontinente meist in weiterm Abstande begleitenden Inseln, welche ihren eigenen, von dem der nächsten Teile des Festlandes abweichenden Gebirgsbau haben. Sie sind zum Teile sehr gross und finden sich in ausgedehnten Gruppen angeordnet. Manche von diesen stellen die inselförmig aufgelösten Aussenränder der Kontinentalmassive dar; sie sind alsdann in Reihen angeordnet. Die grösseren von ihnen sind selbst wieder kleine Festländer, welche von einem Zubehöre unselbständiger Kontinentalinseln der vorhergenannten Kategorien begleitet sind.

Während es bei den unselbständigen Kontinentalinseln darauf ankommt, ihr Verhältnis zu den unmittelbar angrenzenden Festlandsteilen in Hinsicht auf äussere Gestalt, Zusammensetzung, innere Struktur und Entstehungsgeschichte kennen zu lernen, bilden die selbständigen grosse Forschungsobjekte für sich, und erst wenn man ihren Bau genau kennt, kann man daran gehen, sie mit dem Gesamtbaue des zunächst gelegenen Kontinentes zu vergleichen. Sie vervollständigen dessen Geschichte und ermöglichen erst dessen verständnisvolles Gesamterfassen. Indem wir hier behufs der Auffindung eines weitern Einteilungsgrundes die Frage, ob die inselartige Absonderung auf dem Vordringen des Meeres oder auf tektonischen Vorgängen oder, wie es in der Regel der Fall sein wird, auf einer Kombination von beiden beruht, unerörtert lassen, berücksichtigen wir nur die Stellung zu den Festländern und unterscheiden:

1) Randständige Kontinentalinseln. Sie bilden in bogenförmiger Anordnung die über das Meer aufragenden Aussenränder der Kontinentalmassive, entsprechen den bogenförmigen Faltungsgebirgen (Kap. XVI) und tragen im

grössten Teile ihres Verlaufes Vulkane. Hierher gehören die ostasiatischen Inselbogen: Aleutenbogen, Kurilenbogen, Japanbogen, Liukiubogen, Formosabogen; ferner der 6000 km lange Javabogen. Sie fallen sämtlich an ihrer Aussenseite steil in tiefes Meer ab; auf den Innenseiten liegen verhältnismässig flache Becken, deren jenseitige Küsten Länder von ganz abweichendem Gebirgsbaue begrenzen. Es ist wahrscheinlich, dass die Becken wesentlich auf Einbruch beruhen; aber ihre Meereserfüllung ist eine Folge des jetzigen Standes der Strandlinie. Auch die Antillenbogen gehören hierher, wenngleich sie nach den Forschungen von Suess eine gewisse Zugehörigkeit zum Festlandsbaue erkennen lassen. Bruchbildungen scheinen dort eine noch grössere Rolle zu spielen als in Ostasien. Eine nicht so scharf gezeichnete Randständigkeit hat der ostaustralische Inselbogen von Neuguinea über Neucaledonien nach Neuseeland.

2) Binnenständige Kontinentalinseln. Auch diese erheben sich von den Sockeln der Kontinente, aber sie stehen nicht an deren Rand und haben keine Bogenanordnung. Ein Beispiel bieten Grossbritannien mit Irland, deren Gebirgsbau sich wesentlich in den jüngeren Formationen mit demjenigen des benachbarten europäischen Festlandes verbindet, während ein gebrochener uralter Gebirgsrand nach Art der ostasiatischen Inselbogen von Schottland durch Irland und die Bretagne nach dem durch das Nordsüdstreichen der alten Formationen ausgezeichneten asturisch-cantabrischen Gebirge zu ziehen scheint; durch seine Zerstörung ist die Stellung der Inseln eine andere geworden; ihr Schwergewicht liegt im Binnenteile. — Es gehören ferner hierher Borneo, Celebes und andere Binneninseln von Indonesien. Sardinien und Corsica sind hierher zu stellen, während man in den Balearen ein engeres Zubehör zu Spanien, in Sicilien ein solches zu Italien erblicken kann. Als kontinentale Binneninseln sind auch die Inseln des arktischen Archipels mit Grönland zu bezeichnen, sowie diejenigen des Behringsmeeres.

3) Aussenständige Kontinentalinseln. Dies sind Fragmente der Kontinente, welche ausserhalb des Areals der letzteren liegen, aber nicht deren aufgerichtete Ränder darstellen. Hierher gehören Madagaskar, Ceylon, die Falk-

landsinseln, Südgeorgien, vielleicht auch die capverdischen Inseln und die Faröer. Eine ähnliche Stellung wie Ceylon hat Tasmanien.

II. Parasitische Inseln.

§ 176. Während die Inseln der vorhergehenden Klassen nicht über gewisse, durch die grossen Züge der Morphologie der Erdoberfläche gegebene Grenzen hinausgehen, giebt es zahllose andere, welche, fast ausschliesslich von geringer Grösse, in den Meeren eine weite Verbreitung haben, die nur zum kleinen Teile eine Beziehung zu den Grenzlinien der Kontinente und der Kontinentalinseln erweist. Es sind die vulkanischen Inseln und die Koralleninseln. Früher wurden sie den kontinentalen als oceanische Inseln gegenübergesetzt, da sie ihre Verbreitung ausserhalb der Gebiete von jenen, auf den freien Oceanen, haben sollten. Dort ist allerdings der Hauptverbreitungsbezirk, aber nur deshalb, weil das Areal grösser ist: nach Prozenten verteilt findet man sie in vielleicht noch grösserer Zahl in der Nähe der Kontinente, oft mitten unter den Kontinentalinseln. Sie zeigen sich in ihrer Verteilung abhängig von allgemeinen tellurischen Beziehungen und heften sich besonders an Anschwellungen des Meeresgrundes. Ueberall sind sie fremdartige Gebilde. Die Koralleninseln haben gar keine, die vulkanischen nur eine entfernte Beziehung zum innern Gebirgsbau. Ihre Existenz ist überall schmarotzerhaft. Daher bezeichnen wir sie als parasitische Inseln. So verschiedenartig ihre Entstehung ist, verbindet sie dieser Gesichtspunkt, und soweit den riffbauenden Korallen die Thätigkeit möglich ist, fallen ihre Verbreitungsgebiete vielfach nahe zusammen. Wo beide Faktoren gemeinsam eine Insel aufbauen, gebührt dem Vulkanismus die erste systematische Stelle, weil er eine nähere Beziehung zum Grundbaue hat als die Thätigkeit der Korallen.

3) Vulkanische Inseln.

Dies sind Inseln, deren sichtbarer Aufbau, abgesehen von hinzukommendem Ansatze von Korallenbauten, ausschliesslich auf vulkanische Ausbruchsthätigkeit zurückzuführen ist. Es gehören also, wie soeben bemerkt, diejenigen Inseln nicht hierher, bei denen ein Grundgerüst mit Vulkanen besetzt ist; denn das Vorhandensein eines inselartig aufragenden Grundgerüstes als Bruchstück einer Kontinentalmasse steht als systematisches Einteilungs-

prinzip voran; die Vulkane sind hier nur accidentell hinzukommend. Erst wo jenes nicht erkennbar ist, steht der vulkanische Charakter als Einteilungsprinzip im Vordergrunde. Es wird daher bei fortschreitender Erforschung der einzelnen Inseln notwendig sein, diejenigen unter ihnen, bei denen die Vulkane sekundäre Erscheinungen sind, auszuscheiden. So muss schon jetzt Java bei den selbständigen Kontinentalinseln belassen werden, weil Lage und Gestalt den sichern Schluss gestatten, dass der durch Sumatra und die östlichen Inseln bezeichnete Kontinentalrand hier fortsetzt und nur durch eine, vielleicht mit einer Herabsenkung verbundene gewaltige Anhäufung vulkanischen Materials verhüllt wird. Auch die Faröer sind Kontinentalinseln.

4) Koralleninseln.

Hierher gehören alle inselförmigen Korallenriffgebilde der warmen Meere. Sie umschwärmen die Kontinentalinseln Indonesiens, setzen nahe dem ostindischen Festlande, ebenso wie bei Florida und in den westindischen Binnenmeeren, dichtgedrängte Archipele zusammen und sind im Stillen Oceane in grossen Zügen angeordnet. Daher können sie als oceanisch oder pelagisch, im Gegensatze zu kontinental, nicht bezeichnet werden. Im folgenden wird ausführlicher auf die Koralleninseln eingegangen werden.

III. Schwemminseln.

§ 177. Die kleinen und unbedeutenden, durch Zusammenführung losen Materials mittelst der Transportkräfte des Wassers entstehenden Inseln haben wiederum eine andere Art der Verbreitung. Sie sind die Trabanten der Küsten der Festländer, jedoch ohne irgend welche Beziehung zu deren innerm Baue. Festland ist für sie ausser den Kontinenten jede Insel aus einer der vorhergehenden Klassen. Daher sind sie so weit verbreitet, als es Küsten giebt und die Umstände für ihre Bildung günstig sind. Sie entstehen durch die Zusammenführung von Quarzsand, Korallensand und Schlamm der Strommündungen, sowie auch in Gestalt inselförmiger Küstenwälle (§ 155), durch den Transport gröbern Materials, und sind in der Regel mit dem Bestehen von Lagunen verbunden. So gering sie als morphographisches Element erscheinen, haben sie doch eine hohe Bedeutung für die Küsten; denn sie brechen den Ansturm der Wogen. Wichtig sind sie auch für die Schiffahrt, und sie gewähren theoretisches Interesse für die Erklärung der

Sedimentbildung. Besonders sollten ihre Aenderungen und das Landfestwerden durch Vegetation (§ 33) eingehend studiert werden.

Das wesentliche Moment der Schwemminseln, welches sie von allen anderen Inseln unterscheidet, besteht darin, dass sie in ihrer Lage veränderlich sind.

§ 178. Wie bei geographischen Gegenständen überhaupt, ist auch bei den Inseln eine streng geordnete Systematik nicht durchzuführen, da die Uebergänge zahlreich sind. Es kommt wesentlich darauf an, gewisse in der Natur begründete Gesichtspunkte aufzustellen, nach denen die Anordnung eines grossen Teiles des gegebenen Materials geschehen kann und welche geeignet sind, der Beobachtung gewisse Richtungen anzuweisen.

Aehnliche Grundsätze, wie sie hier für die Einteilung der Küsten und Inseln geltend gemacht worden sind, lassen sich selbstverständlich auf die Halbinseln und deren Gegenbild, die Meeresbuchten, anwenden. Es würde zu weit leiten, dahin gerichtete Versuche hier durchzuführen. Die Kategorien der Halbinseln würden denen der Inseln sehr ähnlich sein. Die ersteren können aus den letzteren entstehen und wieder in sie zurückverwandelt werden.

b. Beobachtungen an Koralleninseln und Korallenbauten überhaupt.

§ 179. Obgleich die Bauten der Korallen häufig den Forscher an Festlandsküsten beschäftigen werden, soll doch erst hier auf sie im allgemeinen eingegangen werden, da sie noch öfter in das Untersuchungsgebiet desjenigen fallen, welcher seine Fahrten von den Festländern hinweg nach dem Oceane ausdehnt.

Korallenbauten umsäumen Küsten von Festländern und kontinentalen Inseln, teils unmittelbar, teils in grösserm Abstande; sie bilden Klippen unter der Wasserfläche, ragen in niedrigen Inseln über dieselbe auf und finden sich trockengelegt hoch über dem Meeresniveau. Der Forschungsreisende hat die Aufgabe, die Ursachen ihrer Anwesenheit oder ihres Fehlens zu ergründen, ihre Formen, ihre Zusammensetzung und ihre Umwandlungen zu untersuchen; er kann daraus Material für die Erklärung ihrer Entstehung, der Art ihres Fortwachsens und ihrer Vernichtung unter verschiedenen Umständen entnehmen. Diese Punkte sollen hier einzeln betrachtet werden.

Aus der grossen Ordnung der Korallentiere sind nur verhältnismässig wenige Arten riffbauend. Es gehören zu ihnen sämtliche Astraeaceen, fast alle Fungieen, sehr viele Gattungen der grossen Familie der Oculinaceen, viele Arten der Alcyonoiden, endlich von Madreporaceen alle Madreporiden und Poritiden. Jede Art bildet einzelne Stöcke, die von geringer Grösse bis zu einem Durchmesser von mehreren Metern schwanken und eine gewisse, für jede Art verschiedene Maximalgrösse nicht überschreiten können. Das Leben beschränkt sich in jedem Stocke auf eine meist nur 3—5 mm dicke Oberflächenschicht, in welcher zahlreiche Individuen existieren und durch ein gemeinsames Gewebe verbunden sind. Neue, den Stock vergrössernde Generationen entstehen wesentlich durch Knospung. Die inneren Teile des Stockes sind abgestorben. — Ausserdem nehmen an den Korallenbauten eine grosse Menge von anderen, meist Kalkgehäuse absondernden Tieren teil, welche hier ihre Lebensbedingungen, vor allem ihre Nahrung finden und eine sekundäre, wenngleich keineswegs unwesentliche Rolle spielen. Wichtige Bestandteile bilden auch die Nulliporen: kalkabsondernde Algen, welche häufig die Korallenbauten erhöhen, aber auch grosse Bauten allein zusammensetzen. — Die zoologische Untersuchung ist bei allen Korallenbauten von Wichtigkeit, und wer die letzteren in irgend einer Erdregion zum Gegenstande spezieller Forschung machen will, sollte nicht unterlassen, sich mit den in Betracht kommenden Arten der Korallen und der an ihre Bauten gebundenen Arten von Mollusken und Strahltieren bekannt zu machen. Die physische Geographie fragt jedoch nicht sowohl nach den Arten der dabei beteiligten Tiere, als vielmehr nach der quantitativen und funktionellen Rolle, welche sie im Aufbaue spielen. Die Grösse der Stöcke von einzelnen herrschenden Arten sollte an den verschiedenen Stellen der Riffe untersucht werden.

§ 180. Existenzbedingungen. — Korallen, welche in vereinzelten Individuen und kleinen geselligen Stöcken leben, kommen in seichten Meeren, ebenso wie in der Tiefsee vor; sehr reich an Arten ist die Zone des grauen und grünen Schlammes, besonders in Tiefen von 100—500 m. Diejenigen Familien, Gattungen und Arten, welche Riffe aufbauen, finden jedoch die für ihr Leben erforderlichen Bedingungen nur in geringer Meerestiefe. Man kennt sie abwärts bis zur Tiefe von 35—40 m; es scheint, dass das Lichtbedürfnis sie von grösseren Tiefen ausschliesst. Die obere Grenze lebender Korallentiere ist bis zu ungefähr 15 cm über dem Niveau der Ebbe gefunden worden. In beiden Richtungen, besonders nach der Tiefe hin, sind weitere genaue Untersuchungen erwünscht. Neben dieser grossen Beschränkung in vertikaler Richtung findet eine andere in horizontalem Sinne dadurch statt, dass die in Betracht kommenden Arten bei einer anhaltenden Temperatur unter

20 ° C. nicht zu existieren vermögen; sie finden sich daher nur dort, wo das Minimum des Monatsmittels der Temperatur in der Oberflächenschicht des Meeres nicht unter diesen Betrag herabsinkt, und gedeihen am besten, wo dasselbe erheblich höher ist. Man hat eine heisse Korallenbauzone mit einem Temperaturminimum von 23,4 ° und darüber und eine warme mit einem solchen zwischen 23,4 und 20 ° C. unterschieden. Die zoologischen Unterschiede beider Zonen sind zum Teile bekannt: doch ist auch nach dieser Richtung das vergleichende Studium der Korallenbauten noch zu vervollständigen, insbesondere mit Rücksicht auf den Einfluss, den die Temperatur vielleicht auf die Schnelligkeit des Wachstums ausübt.

Reines Salzwasser ist notwendige Lebensbedingung. Süsswasser und Trübung durch Sand und Schlamm wirken tötlich auf die Korallentiere.

Eine fundamentale Existenzbedingung der Riffe überhaupt betrifft mit grosser Wahrscheinlichkeit den Boden, auf welchem der erste Ansatz stattfindet und der Bau zu gedeihen vermag. Dies kann nur an trockengelegten Riffen untersucht werden (s. § 185).

§ 181. Formen der Korallenbauten. — Die in der Nähe der Küste angesiedelten und fortwachsenden Korallenstöcke vereinigen sich zu grösseren Massen von unregelmässigen Formen und mit höchst unebener Oberfläche. Die Unregelmässigkeit scheint grösser zu sein, wo der Untergrund viel Wechsel bietet, geringer, wo er einfacher gestaltet und homogener in seiner Zusammensetzung ist. Je weiter die Entwicklung fortschreitet und zu je grösserer Ausdehnung die Bauten anwachsen, desto mehr ist die Tendenz zu regelmässiger Gestalt in der Gesamtanordnung der Stöcke vorhanden, während der differenzierende Einfluss der Unterlage zurücktritt. An der Seite des offenen Meeres findet, wahrscheinlich infolge des Wogenandranges, ein Fortwachsen nach der Höhe statt, und je mehr dies fortschreitet, desto geringer wird die Intensität der Fortentwicklung auf der Landseite, zugleich geschieht sie hier wesentlich nach der Richtung der Breite. Es waltet daher das Streben nach der Sonderung einer äussern Umwallung und eines flachen Binnenteiles. Die erstere wächst allmählich an einzelnen Stellen bis zur Oberfläche heran. Die Wellen brechen sich an ihr, erzeugen ihr entlang eine Brandung und schreiten beruhigt nach der geschützten Seite fort. Starke Strömungen begünstigen nach Sempers Beobachtungen ebenfalls das vertikale Wachsen und

können ihm in einem vor Brandung geschützten Archipel allein zu Grunde liegen. Zugleich bringen untergeordnete Strömungen kleinere Differenzierungen in den Formen hervor; denn da sich in der Regel Kanäle ausbilden, durch welche zur Ebbezeit das bei der Flut nach der Binnenseite hinübergetriebene Wasser abströmt, so bleiben dieselben als freie Rinnen bestehen. An ihren Wänden dauert das vertikale Wachsen fort, aber eine Breitenentwicklung findet nicht statt.

Während auf der flachen Innenseite die Oberflächengestaltung örtlich sehr wechseln kann, tritt im Aussenwalle nach Massgabe seiner Ausbildung die angeführte Tendenz zu regelmässiger Anordnung des Gesamtbaues schärfer hervor. Er begleitet die Küsten bald in grösserm, bald in geringerm Abstande, in langen schmalen Zonen oder in leicht geschwungenen Bogen, ohne die kleinere Einzelgliederung jener zu wiederholen. Umzieht die Küste eine Insel, so schliessen sich die nach aussen konvexen Kurven um diese herum und bilden einen Ring.

Dies scheinen die Grundformen des Baues zu sein. Doch gestalten sie sich im einzelnen sehr mannigfaltig. Wo die Küste steil und klippig zu grosser Tiefe abfällt, fehlen die Korallenbauten fast gänzlich, da sich kein geeigneter Grund für die erste Ansiedlung bot. Wo jene sich abflacht, finden sich die Polypenbauten ein, mit Ausnahme der Stellen, an welchen trübes Wasser oder überhaupt viel Süsswasser vom Lande herabkommt. Aber häufig fehlt der nach aussen steil abfallende Wall; flache Bauten allein breiten sich weithin aus. Die Ursache mag in manchen Fällen darin beruhen, dass weder eine konstante Strömung, noch eine bestimmte Wetterseite vorhanden ist, sondern beides häufigem Wechsel unterworfen ist. Doch ist dies im einzelnen Falle zu untersuchen; es können auch andere Ursachen zu Grunde liegen. So würde, wie Darwin erkannte, eine negative Strandverschiebung fortdauernd neue Zonen des Meeresbodens, die vorher zu tief lagen, in den Bereich der Ansiedlung der Korallentiere bringen, und ehe ein Wall aufgebaut wäre, würden schon neue Flachbauten ausserhalb bestehen.

Darwin gründete auf diese Verschiedenheiten in der Anordnung die Einteilung der die Küsten begleitenden und die hohen Inseln umgebenden Korallenbauten in die bekannten Kategorien der Saumriffe und Wallriffe. Doch sind dies extreme Ausbildungsformen desselben Typus, und man findet zahlreiche Zwischenstufen, bei denen man weder von der einen, noch von

der andern Form reden kann. Die Sonderung lässt sich immerhin für einzelne charakteristische Fälle anwenden; man kann auch noch ausserdem zwischen äusseren und inneren Wallriffen unterscheiden.

Die äusseren Wallriffe begleiten das Land oft in grösserm Abstande. An der Ostküste von Australien beträgt dieser 80—100 km; doch ist er bei manchen ringförmig umgürteten Inseln gering und der Aussenwall tritt stellenweise ganz an das Land heran. Gewöhnlich ragt der äusserste Teil des Walles am höchsten auf; seine Oberfläche ist unregelmässig gestaltet und hat oft ausgezackte Umrisse. Obgleich dort die widerstandsfähigen Nulliporen den Bau verfestigen, findet doch unaufhörliche Zerstörung der Neubildungen statt. Die Brandungswelle stürmt gegen die randlichen Bauten an und entführt wahrscheinlich weitaus den grössten Teil der Trümmer nach der Tiefe; andere Bruchstücke werden aufwärts getragen und übereinander geworfen. Ihre Anhäufungen ragen stellenweise als Inseln über die Fluthöhe auf. Die Breite des ganzen Walles ist schwer anzugeben, da er sich nach der Binnenseite hin allmählich herabsenkt. Die Oberfläche zeigt zur Ebbezeit Vertiefungen, die mit Wasser erfüllt sind, Flachgründe und Erhöhungen. Die Gestalt der Aussenseite ist kaum als allgemein bekannt zu betrachten, da die schwierige Untersuchung selten mit Genauigkeit ausgeführt worden ist. Man hat einen Steilabsturz von 10—12 m gefunden, dann einen flachen, sich allmählich zur Tiefe von 30—35 m herabsenkenden Grund, der einige hundert Meter Breite hat und vielen Korallen zum Wohnplatze dient, dann wiederum einen steilen Abfall nach grösserer Tiefe. An anderen Stellen stürzt der Aussenwall unmittelbar ab. Einige sorgsam ausgeführte Querprofile würden von Wert sein.

In dem ruhigen Wasser der Innenseite gedeihen die riffbauenden Korallen bei weitem weniger üppig; nur einzelne Arten können dort überhaupt leben, von diesen aber erreicht ein und derselbe Stock oft eine aussergewöhnliche Grösse. Die Tiere befinden sich hier unter der Ungunst des von der Küste kommenden, streckenweise Trübung mit sich bringenden Wassers, und es kann durch starken Zufluss ihr plötzliches Absterben in grossem Umfange stattfinden. Auch hier jedoch sind Strömungen vorhanden, welche die Veranlassung eines strichweise verteilten üppigern Gedeihens sein mögen. An solchen Stellen erheben sich die inneren Wallriffe, meist flache Bauten von lockerm

Gefüge und mit ausgeebneter Oberfläche. Sie reichen nur bis zum Niveau der tiefsten Ebbe heran, wahrscheinlich deshalb, weil jeder höher bauende Polyp bei niedrigstem Meeresstande durch Regen getötet wird. Der Effekt desselben wird nicht, wie in der Brandungszone durch Ueberspülen und Uebespritzen mit Seewasser neutralisiert.

Die Randlagunen, wie man die von den Wallriffen umschlossenen Wasserbecken nennen kann, sollten nach ihrer Bodengestalt genau untersucht werden. Von Interesse ist das Verhältnis ihrer tiefsten Teile zu der Meerestiefe ausserhalb des Wallriffes.

Die unvollkommenste und regelloseste Form haben die Saumriffe. Bei ihnen erfolgen vielfache Störungen im Wachstume, und neue Ansätze des Aufbaues geschehen nach Perioden der Unterbrechung.

In neuerer Zeit ist noch eine Form, diejenige der Schirmriffe, bekannt geworden, welche vielleicht eine weitere Verbreitung hat. Die Abrolhosinseln an der Küste von Brasilien (18 ^{0} S.) sind von Korallenbauten umgeben, die sich aus 12—15 m Tiefe in einzelnen Säulen erheben und sich an der Meeresfläche schirmartig oder pilzartig ausbreiten sollen. Diese oberen Teile vereinigen sich zu einer kontinuierlichen, von isolierten Säulen getragenen Decke. Aehnliche Formen sind in anderen Gegenden gefunden worden, wo ein seichter Meeresboden sich vor der Küste ausbreitet, Gezeiten und Stürme gering sind und wahrscheinlich die Meerestiefe seit längerer Zeit unverändert geblieben ist; z. B. in den Turksinseln im Bahama-Archipel. Dieser Erscheinung sollte Aufmerksamkeit zugewandt werden. Besonderes Interesse dürfte die unter der Decke lebende Tierwelt in Anspruch nehmen, da sie ihre Existenz bei vollkommener Ruhe und geringem Lichte hat. Ihre Untersuchung wird vermutlich für die Erklärung mancher eigenartiger, in Kolonien auftretender Zusammenhäufungen tierischer Reste in den Kalksteinen älterer Formationen von Wert sein.

Koralleninseln oder Atolle sind solche Korallenriffe, welche isoliert über das Meer aufragen und eine Beziehung zu Festländern und Inseln anderer Art daher nicht unmittelbar erkennen lassen. Sie stellen einen Wall von der Gestalt einer in sich selbst zurückkehrenden Kurve dar, welche sich selten der Kreisform nähert. Nur an einzelnen Stellen dieser Linie ragt der Korallenbau über die Oberfläche hervor; am höchsten

erheben sich Trümmermassen desselben. Zuweilen beschränkt sich dieses Auftauchen fester Massen auf wenige Stellen, sodass die Lagune von den durch die äussere Brandung abgeschwächten Meereswellen erreicht wird; zuweilen erhebt sich der Wall in seiner ganzen Ausdehnung über die Meeresfläche und umschliesst ruhiges Wasser. Dieses wird in der Regel durch Einschartungen des Walles für Schiffe zugänglich.

§ 182. Umgestaltung der Oberfläche. — Die Brandungswelle übt an einem Korallenriffe dieselbe Einwirkung aus, welche früher an Felsküsten beschrieben wurde (§§ 153, 154). Aber der Vorgang gestaltet sich dadurch eigenartig, dass neben der Zerstörung ein unaufhörliches Fortbauen stattfindet und zwar am regsten dort, wo die Brandung am heftigsten anstürmt und die grösste zerstörende Kraft hat. Man kennt vor allem durch die Arbeiten von Dana die allgemeinen Züge der Erscheinung; doch ist manche Erweiterung der Kenntnis durch fortgesetzte Beobachtung an einer und derselben Stelle zu erwarten. Die Stätte für Zerstörung und Aufbereitung ist auch hier der Brandungsstrand. Bei den oceanischen Inseln hat er wegen der geringen Höhendifferenz zwischen Ebbe und Flut nur eine Breite von 30—100 m und eine geringe Abdachung. Am obern Rande erhebt sich unter steilerm, nach oben bis zu 30 und 35° zunehmendem Winkel der Strandwall, welcher aus groben Blöcken besteht und eine Höhe von 2—3 m erreicht. Die zur Flutzeit herandrängenden Wellen haben das doppelte Bestreben, die Blöcke zu zertrümmern und sie nach der Höhe des Walles zu transportieren. Feiner, aus der Zerstörung von Korallen und Muschelschalen hervorgegangener weisser Kalksand wird von oben nach unten auf der Strandfläche fortbewegt, während die bei niederm Wasserstande am Aussenrande abgebrochenen Blöcke, insoweit sie durch den Stoss auf jene gebracht werden, in entgegengesetzter Richtung allmählich den Strand hinaufwandern bis zu der Stätte der hauptsächlichsten Zerstörung. Ein Teil des Sandes wird durch Winde auf die Höhe des Strandwalles und weiter über ihn hinweggeführt, ein anderer, jedenfalls sehr viel grösserer Teil wird durch die rückläufigen Wellen und durch Strömungen fortgenommen.

Die Stätte des neuen Wachstums der Korallen hat ihr oberes Ende am untern Rande der Strandfläche, wo durch Fortwuchern die Tendenz zur Bildung nach aussen gerichteter

Ueberwallungen obwaltet, und setzt an der Aussenseite des Riffes fort bis zu der Tiefe, in welcher die Korallentiere leben können. Es wird dadurch auch bei gleichbleibendem Meeresstande der Zerstörung fortdauernd neues Material geliefert, was bei einer Felsküste nicht der Fall ist.

Fortwachsen an den äusseren Rändern durch Absonderung des im Meerwasser gelösten Kalkes, Abreissen von Teilen der Korallenbauten durch die Brandungswelle, Abnutzung der Blöcke und Fortschieben derselben auf der Strandfläche nach der Stätte der intensivsten Wirkung, weitere Zerstörung und Hinauftreiben derselben nach der Höhe des Strandwalles, endlich Anhäufung des Korallensandes durch Wind und Entführung desselben durch Strömungen — das scheinen die wesentlichen Vorgänge bei der Umgestaltung des sichtbaren Teiles der Korallenriffe zu sein.

Diese Vorgänge werden sich je nach den örtlichen Umständen erheblich modifizieren. Zunächst wird die Höhe des Trümmerhaufwerkes von der Gezeitendifferenz und von der Höhe, welche die Sturmwellen erreichen, abhängen müssen. Letztere bestimmen die äusserste Höhe, bis zu welcher grosse Blöcke aufwärts transportiert werden können. Ferner sollte die herrschende Windrichtung von grossem Einflusse sein; denn auf der Windseite findet nicht nur ein intensiveres Bauen der Korallen statt als auf der Leeseite, sondern auch ein bedeutenderer Transport durch die Brandungswellen, ebenso wie durch den Wind. Andere Modifikationen, über die es noch an genügenden Untersuchungen fehlt, sollten durch die Strömungen hervorgerufen werden. Da sie Nahrung zuführen, begünstigen sie den Fortbau auf einer Seite, die andere erhält diesen Vorteil in geringerm Grade. Das gleichsinnige Wirken von Wind und Strömung in den Passatregionen sollte dort gewisse gleichartige Erscheinungen hervorrufen. Wiederum eine andere Klasse von Modifikationen, welche für eingehendes Studium besonders zu empfehlen sind, werden in der äussern Ausgestaltung der Korallenbauten durch die positive oder negative Strandverschiebung hervorgerufen werden. Mit jedem Centimeter, um welchen eine Bewegung in ersterm Sinne geschieht, wird das Niveau der Zerstörung um ebensoviel hinaufgerückt; um den gleichen Betrag ist den Korallentieren mehr Spielraum zum ungehinderten Fortbau nach oben gewährt, während auch ihre untere Lebensgrenze um ebensoviel noch oben rückt. Bei

einer Insel aus nicht zoogenem Gesteine von derselben Konsistenz würde bei weiterm Vordringen des Meeres schnell vollständige Abrasion erfolgen. Diese kann bei Korallenbauten dadurch verhindert werden, dass das Aufwärtswachsen der Stöcke am untern Rande der Strandzone und jenseits desselben im Meere stattfindet. Die Strandlinie der Ebbe rückt daher nicht nach dem Innern hin, sondern steigt im allgemeinen vertikal über sich selbst nach Massgabe der Erhöhung des Meeresspiegels an. Dies sind unabweisbare theoretische Postulate, denen aber der durch Beobachtung für einzelne Fälle zu erbringende Beweis fehlt. Nicht minder sollten diejenigen Fälle, in welchen eine negative Strandlinienverschiebung nachweisbar ist, auf die mit dieser stattgehabten Veränderungen genau untersucht werden.

Die beschriebenen Vorgänge in der Aussenzone der Korallenbauten sind die dynamische Vorbedingung für die Ausgestaltung nach innen. Die über das Meer hervorragenden Teile haben meist nur eine Breite von 50—600 m. Sie bestehen am Aussenrande aus geschwärzten Blöcken von Korallenfels, die ein Volumen von 2—3 cbm erreichen. Weiter nach innen sind dieselben von Korallensand bedeckt. Derselbe nimmt die Gestalt von Dünen nur unvollständig an, da er in der Regel schon in 2—3 Fuss Tiefe fest verkittet und meist an der Oberfläche mit Vegetation, deren faulende Substanzen ihn schwarz färben, bedeckt ist. Die Cementierung wird der Kohlensäure des Regenwassers zugeschrieben. Da der Kalksand sich durch Insolation verhältnismässig wenig erwärmt, so ist die Verdunstung gering. Der früher (§ 51) dargestellten Verteilung des Wassers im Boden entsprechend, erhält sich in diesem das Süsswasser, welches die Existenz des Menschen auf Koralleninseln ermöglicht.

Der Innenrand senkt sich allmählich zur Lagune hinab. Hier geschieht die Ausfüllung hauptsächlich durch hereingewehten Korallen- und Muschelsand. Doch leben dort auch einzelne Korallenstöcke, deren Existenz von der Möglichkeit der Nahrungszufuhr abhängt. Bei grösseren Lagunen hat man Wassertiefen von 30—100 m gefunden; der Boden in ihnen hat eine gleichmässige Gestalt. Kleinere Lagunen sind häufig seicht, zuweilen trocken und dann in trockener Jahreszeit mit Salzinkrustationen bedeckt; bei Regenzeit halb ausgesüsst.

Untermeerische Gestalt der Korallenriffe. — § 183.
Dies ist ein Gegenstand, dessen exakte Darlegung in hohem

Masse zu wünschen ist, da er unmittelbare Beziehung zu der Entstehungsgeschichte der in Rede stehenden Gebilde hat. Es liegen vortreffliche, aber doch nur vereinzelte und lückenhafte Beobachtungen vor, und es wäre bei dem jetzigen Stande der Theorien ganz besonders anzuraten, in einzelnen lehrreichen Fällen genaue Aufnahmen mittelst zahlreicher Lotungen systematisch auszuführen. Im allgemeinen hat ausserhalb der Wallriffe das Meer eine geringere Tiefe als in den Regionen, welche durch die Erscheinung der Atolle ausgezeichnet sind. In diesen sind Tiefen von 2000—4000 m und mehr vielfach gelotet worden, und zwar sind es ziemlich ebene Boden, welche sich zwischen den Inselreihen ausbreiten.

Die bisher gemachten Erfahrungen lassen sich dahin zusammenfassen, dass ausserhalb der Ebbezone zuweilen ein bis 200 m breiter, erst schnell, dann langsamer an Tiefe zunehmender Streifen folgt, auf welchem die Korallen fortbauen, zuweilen aber, und zwar besonders an der höher aufragenden Wetterseite, ein so starker Zuwachs von Korallenstöcken stattfindet, dass der Rand des Riffes über den Untergrund vorragt. Dana erreichte bei der Insel Metis (Tahiti) dicht an der Küste mit einer Leine von 300 m keinen Grund und fand in dem Horizontalabstande von 1600 m eine Tiefe von 1100 m. Die „Gazelle“ fand (nach Studer) in den meisten Fällen unmittelbar am Rande einen wahrscheinlich durch Ueberbau an der Oberfläche veranlassten senkrechten Abfall zur Tiefe von 30—50 Faden, dann eine Abdachung von 40—60° Neigung bis hinab zu einer Tiefe von 1000—2000 Faden, in der Tongagruppe nur bis zu einer solchen von 900—1000 Faden. Wenn diese Berechnungen des Neigungswinkels richtig sind, so hat man daraus zu schliessen, dass dem Meeresboden ein Kegel mit ausserordentlich steiler Böschung aufsitzt, dessen oberster Teil als der jetzt erkennbare Teil des Riffes senkrecht (oder durch Vorhandensein einer kronenartigen Ueberwallung scheinbar senkrecht) ansteigt. Da der angegebene Abfallswinkel so steil ist, wie er auf dem Festlande bei gleichem Vertikalabstande selten und isoliert auftritt und wie er sonst auf dem Meeresboden nur ganz vereinzelt und nur an solchen Stellen gefunden worden ist, wo ihm Schuttmassen (von Eisbergen herrührend, s. § 189, 4) aufgelagert sind, so müsste man aus den Zahlen den Schluss ziehen, dass ein Schuttkegel von ungewöhnlicher Steilheit den untern Teil eines Korallenriffes bildet. Dies

würde, abgesehen von der Steilheit, auch a priori zu folgern sein. Denn bei jeder Flut entführen die Strömungen dem Strande Korallensand und fein zerriebenes Material. Diese Stoffe müssen zu Boden sinken, und zwar die gröberen in der unmittelbaren Umgebung, die feineren in grösserer Entfernung; die letztere muss um so grösser sein, als die feineren Teile langsamer sinken und ausserdem wegen der grössern Tiefe des Meeres, in das sie gelangen, durch die Strömungen weit getragen werden. Während sonach um jedes Riff ein sehr flacher, mit wachsender Entfernung an Neigung abnehmender Schuttkegel feinern Materials, besonders in der Richtung der vorherrschenden Strömung, gebildet werden muss, hat man auch selbstverständlich anzunehmen, dass die an dem übergreifenden Baue sich brechende Welle des Oceans grössere Korallenblöcke hinwegnehmen und grösstenteils zu Boden fallen lassen wird. Der von diesen gebildete Schuttkegel sollte eine steile Neigung haben und sich ringsum bilden, vorwaltend aber an der Wetterseite.

Wenn das Riff aus einer Tiefe von mehreren tausend Fuss allmählich emporwächst, sollte es sich also in einen mit ihm selbst an Höhe und zugleich an Umfang sich vergrössernden Schuttkegel von Korallenstoff hüllen. Derselbe sollte aus einem steilen obern Kegel von gröberen Blöcken und einem sehr sanft abgedachten, nach der Strömungsrichtung in die Länge gezogenen untern Kegel bestehen. Die gegenwärtig vorliegende Beobachtung stimmt mit der theoretischen Voraussetzung nur insoweit nicht überein, als sie einen steilen Neigungswinkel, wie er nur im obersten Teile vorhanden sein sollte, für den ganzen Kegel bis hinab zum ausgeebneten Meeresboden zu ergeben scheint. Dies ist jedoch den Gesetzen der Aufschüttung lockern Materials so sehr entgegen, dass die Abweichung der angenommenen Form von der Theorie wohl nur in der äusserst unvollkommenen Beobachtung gesucht werden muss.

Das theoretische Bild der Gesamtgestalt eines Riffes kann auch auf den innern Bau desselben ausgedehnt werden. Es ist klar, dass, wie immer der Untergrund beschaffen sein möge, ein Korallenbau von den ersten Stadien seiner Entstehung an der herrschenden Strömung entgegenwachsen muss. Solange er die Oberfläche noch nicht erreicht, findet ruhige Entwicklung statt. Aber von dem Zeitpunkte, in welchem er an dieselbe gelangt, wächst er auch der vorherrschenden Brandungsrichtung

entgegen und erleidet zugleich an seinen Rändern eine so bedeutende Abtragung durch Zerstörung, dass sehr bald die Masse des Trümmermaterials grösser sein wird als diejenige der festgewachsenen Korallenstöcke. Ein geringer Teil dieses Detritus wird zur Aufschüttung in den inneren Teilen in der in § 182 dargestellten Weise verwandt; dort bringen neue Korallenbauten wenig Zuwachs. Weitaus der grösste Teil muss zum Aufbaue des eine Koralleninsel mantelförmig um-

Fig. 76.

hüllenden und nach der Strömungsrichtung in die Länge gezogenen Schuttkegels verbraucht werden. Es wird also die Gesamtmasse eines im Meeresniveau als ein niedriger Atollring erscheinenden Korallenbaues, welcher auf einer sanften Bodenschwelle aufsitzt, im Längsschnitte ungefähr die in Fig. 76 angegebene Gestalt haben, wobei die senkrechte Schraffierung den festen Korallenbau, die gebrochenen Linien den Detritus des Innern und des Umhüllungskegels bezeichnen und der Pfeil die Richtung der

Fig. 77.

Strömung angiebt, welche als gleichbleibend angenommen ist. Zu bemerken ist, dass die Strömungsseite noch steilern Abfall haben und das übergreifende Aufwachsen an derselben Seite in noch stärkerm Masse stattfinden dürfte. In Fig. 77 ist der Versuch gemacht, theoretisch das Verhältnis darzustellen, wie es sich gestaltet, wenn, nachdem die verschiedenaltrigen Riffe *a* und *b* eine gewisse Höhe erreicht haben, zwischen ihnen ein Vulkan *c* aufgeworfen wird, auf dessen Gipfel das jüngste Riff emporgewachsen ist. Die Mengung des Detritus der Riffe mit vulkanischen Auswurfsprodukten würde dabei eine erhebliche

Rolle spielen, welche hier ausser acht gelassen ist. Auch müssten die gegenseitigen Entfernungen von *a*, *b* und *c* grösser angenommen werden.

Fig. 78 stellt die wahrscheinliche Struktur eines Barrenriffes dar, wobei vorausgesetzt ist, dass die Korallen bei einem gewissen Stande des Meeres zu bauen begannen, und dann positive Strandverschiebung und Emporwachsen des Riffes im Gleichgewichte standen. Auch hier muss ein breiter Schuttkegel der sich gegen die Strömung übergreifend vorschiebenden, daher überhängend gestalteten Aussenwand anlagern.

Vielfache Modifikationen der Gestalt müssen durch Schwankung des Meeresspiegels hervorgebracht werden. Trat, wie es oft vor Beginn vulkanischer Thätigkeit der Fall gewesen zu sein scheint, Hebung ein, so konnte ein Riff trockengelegt

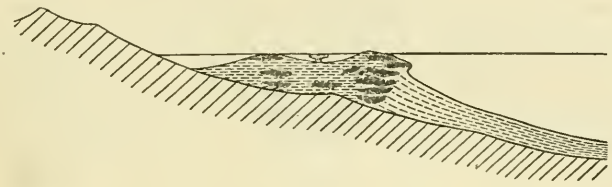

Fig. 78.

werden. Folgte dann, wie es ebenfalls in vulkanischen Gegenden zu beachten ist, eine Senkung, so vermochten entweder die Korallen das alte, in der Zwischenzeit durch die Agentien des Festlandes umgestaltete Riff mit einem neuen Kranze von Bauten in der Art der Barrenriffe zu umgürten und es vor Zerstörung durch die Brandung zu schützen, oder sie wurden durch irgend welche Umstände, zu denen die vulkanische Thätigkeit ganz besonders Anlass geben konnte, am Bauen gehindert, und in diesem Falle konnte die Brandungswelle eine Abrasionsfläche durch das ganze Riff legen. Wenn z. B. das in Fig. 79 dargestellte Riff, welches bei dem Meeresstande *m m* im Fortwachsen begriffen war, bis zu dem Niveau von *a* aus dem Meere gehoben wurde und sich dann bei aufgehobener Bauthätigkeit wieder senkte, so musste eine Abrasionsfläche *a b* durch dasselbe gelegt werden. Kam diese tief unter den Meeresspiegel zu liegen, so blieb sie unverändert, wenn auch kalkabsondernde Tiere und Pflanzen verschiedener Art sich

auf ihr ansiedeln konnten. Näherte sich ihr in späterer Zeit wieder die Oberfläche des Meeres bis $m^1 m^1$, welches 30 m über b gelegen sein mag, so konnte hier die Bauthätigkeit wieder beginnen und bei weiterer Senkung des Meeresspiegels nach $m^2 m^2$ allmählich auf der Fläche gegen a hin fortschreiten. Die Bauten bei b würden die Meeresfläche erreicht haben, wenn die gegen a hin gelegenen noch in ihren Anfangsstadien sein würden. Man würde also einen steilen Abfall nach der von der Strömung abgewandten, eine sehr sanfte Abdachung nach der ihr zugekehrten Seite wahrnehmen. Die Südküste von Java bietet viele verschiedenartige, auf Oscillation deutende Erscheinungen, und man könnte versucht sein den hier dargestellten Fall bei den Palauinseln anzunehmen, über welche Sempers schöne Untersuchungen vorliegen. Dort scheint es

Fig. 79.

Stellen zu geben, wo die Abrasionsfläche einen Korallenbau vollständig durchschnitt, andere, wo neu entstandene Bauten der Brandungswelle den Eingriff in die alten Gebilde verwehrten, noch andere, wo feste Andesitmassen ihren Zerstörungsbereich beschränkten. Aus den genau erforschten Oberflächenverhältnissen ergiebt sich nach Semper der Schluss, dass die Inseln jetzt in „Hebung“ begriffen sind oder eine solche vor kurzer Zeit erfahren haben. Ob der zweite Schluss, dass die vertikale Mächtigkeit der weit ausgedehnten Bauten nicht mehr betrage als jene geringe Tiefe, bis zu welcher hinab riffbauende Korallen leben können, eine Berechtigung hat, lässt sich nicht festsetzen, solange nicht die Gestalt des Meeresgrundes hier genau bekannt ist. Da er nicht flach ist, sondern nach Osten wie nach Westen in grosse Tiefen abfällt und selbst die Kanäle in dem Riffkalke eine grössere Tiefe als 30—40 m erreichen, so dürfte man auf Grund der mitgeteilten Forschungen zu der Vermutung berechtigt sein, dass auch dort die Korallenbauten sich auf tiefliegendem Meeresgrunde erheben.

§ 184. Neuere Theorien über die Bildung der Korallenriffe. — Die meisten der Beobachtungen, auf welche in den vorigen Paragraphen hingewiesen worden ist, haben als Endziel die Erklärung der Entstehungsweise der Korallenriffe. Dieselbe ist ein wichtiges Kapitel der physischen Geographie und der Geologie geworden, seitdem Darwin und Dana in einer in jedem Lehrbuche der Geologie und der physischen Geographie auseinandergesetzten Art weittragende Schlüsse darauf gründeten. In neuerer Zeit wurden Semper, Rein, Murray und Studer auf Grund sorgfältiger Beobachtungen und unabhängig voneinander dazu geführt, jene allgemein angenommen gewesene frühere Theorie zu verwerfen und eine neue an die Stelle zu setzen, welche in Deutschland sofort zahlreiche Anhänger gefunden hat.

Diese neueren Anschauungen gründen sich darauf, dass man in den Niederschlägen der Globigerinen, in Muschelbänken und anderen Anhäufungen von Schaltierresten einen früher nicht in seiner vollen Bedeutung gewürdigten Faktor kennen gelernt hat, durch welchen auf dem Meeresgrunde ein aus Kalkmassen bestehender Aufbau in gewissen Tiefen geschehen kann, und auf die daraus abgeleitete Folgerung, dass durch solchen Aufbau ein Untergestell bis zu derjenigen Nähe der Oberfläche, in welcher die riffbauenden Korallen mit ihrer Arbeit einzusetzen im stande sind, geschaffen werden kann. Semper, welchem das Verdienst gebührt, den grossen Einfluss der Strömungen auf die Formen der obersten Teile der Korallenbauten zuerst scharf erfasst zu haben, setzte anfangs ganz allgemein Hebungen an die Stelle von Darwins Senkungen, indem das Fundament von untermeerischen Erhöhungen und Plateaus sich durch vulkanische Kräfte nach der Meeresfläche hin bewegen und in einem gewissen Stadium der Erhebung die Ansiedlung der Korallen ermöglichen sollte. Nachdem inzwischen die Beobachtungen von Graf Pourtalès die Bildung konglomeratartiger Ablagerungen von Korallen und Schaltieren in der Nähe der Küsten von Florida in Tiefen von 90—300 Faden erwiesen hatten, nahm Semper die Emporhebung derartig beschaffener Gründe an, während die anderen der genannten Forscher das Fortwachsen dieser Bildungen aus irgend einer nicht zu grossen Tiefe bis in die Nähe der Meeresfläche als genügend erachteten, um die Bildung von Korallenbauten bei unverändertem Meeresstande zu erklären. Rein nahm für die Bahamariffe eine submarine Wölbung des Bodens als Unterlage solcher Konglomerate an,

ohne daran Vermutungen über die Felsbeschaffenheit des gewölbten Meeresbodens zu knüpfen; Murray setzte in allgemeinerer Weise, wie schon früher Chamisso, als Grundlage der Korallen-inseln überhaupt das Bestehen submariner vulkanischer Berge voraus, deren Gipfel durch Anhäufung organischer Sedimente erhöht worden seien; Atolle würden auf ihnen infolge der in den randlichen Zonen vorhandenen günstigeren Wachstumsbedingungen entstanden sein; Studer glaubte aus der Reihenanordnung der Riffe auf die Existenz vielkuppiger submariner Gebirgszüge mit steilen Gehängen schliessen zu dürfen und hielt ausserdem die „Hebung" für ein die Korallenbildung viel allgemeiner beeinflussendes Agens als die „Senkung".

Es ist diesen neueren Forschungen zu entnehmen, dass Darwin ein zu grosses Gewicht auf die „Senkung" gelegt hat. Korallenriffe können sich offenbar ohne jegliche Aenderung im Meeresstande überall bilden, wo geringe Meerestiefe, entsprechende Temperaturverhältnisse, günstiger Untergrund, Reinheit des Seewassers und Strömungen die erforderlichen Bedingungen für die Ansiedlung und das Fortwachsen riffbauender Korallen gewähren. Sie werden durch Fortwachen an die Oberfläche im offenen Meere die Gestalt von Ringwällen, an den Küsten diejenige von Umsäumungen und in weiteren Abständen diejenige von begleitenden, nach aussen konvex gestalteten Wällen annehmen. Durch randliches Fortwachsen und gleichzeitige Bildung eines Schuttkegels können sie eine untermeerische Kuppe bis zu einem gewissen Grade überwuchern und einen Aufsatz bilden, dessen Breite wahrscheinlich bei gegebener Gestalt und Grösse der Kuppe (und bei unverändertem Meeresstande) einen gewissen Maximalbetrag nicht wird übersteigen können. Auf flachem Grunde hingegen wird in der den Strömungen entgegengesetzten Richtung ein Fortbauen bis auf weite Entfernung hin stattfinden können, soweit der flache Boden reicht oder durch den Detritus der Riffe selbst neu geschaffen wird. Die Ringform wird auch dann entstehen.

Es kann ferner keinem Zweifel unterliegen, dass in der von Graf Pourtalès beobachteten Art ein nicht allzu tiefer Meeresgrund erhöht werden kann, bis er das für den Ansatz der Korallen geeignete Niveau erreicht. Dies wird besonders dort von Belang sein, wo während einer gewissen Zeitdauer ein durch andere Ursachen bedingtes Seichtwerden des Meeres nicht eintritt. Es ist jedoch in Betracht zu ziehen, dass ein

konstantes Verhältnis im Niveau von Meer und Land allenthalben auf der Erde niemals lange zu währen scheint. Tritt eine negative Strandverschiebung ein, so wird die Oberfläche der bereits gebildeten Riffe trockengelegt, während gleichzeitig ein Fortwuchern der Korallen nach denjenigen Seiten, an welchen sich Flachboden und günstige Strömung vereinigen, stattfinden wird. Dieses Verhältnis wurde in der That von Semper im südlichen Teile der Palauinseln beobachtet. Positive Strandverschiebung hingegen muss, falls sie schneller geschieht als die Korallen nachbauen können, die tiefe Versenkung des Riffes und das Absterben der Korallentiere zur Folge haben, bis jenes zufolge einer entgegengesetzten Bewegung der Oberfläche des Meeres wieder nahe genug kommt, um die abermalige Ansiedlung der Korallen und das erneute Fortwachsen des Riffes zu ermöglichen. Vermögen aber die Korallen in ihrem Fortbauen gleichen Schritt mit der Erhebung der Meeresfläche zu halten, so muss eine Fortentwicklung der Riffe nach oben stattfinden und jene Form eines aus einem Schuttkegel sich erhebenden, oben zum Teile übergreifenden steilwandigen Massives entstehen, wie sie nach den Beobachtungen von Dana und Studer für die Koralleninseln des Pacifischen Oceans (s. § 183) charakteristisch zu sein scheint. Die vertikalen Verschiebungen des Meeresspiegels aber pflegen, wie wiederholt angedeutet wurde, oscillatorisch zu sein. Die jetzige Gestalt der durch jene Beobachtungen bezeichneten, weitaus vorwaltenden Klasse von Koralleninseln dürfte mithin als das Resultat mehrfacher, einander entgegengesetzter Bewegungen anzusehen sein, deren Gesamteffekt aber in einer sehr bedeutenden negativen Verschiebung bestand.

Wenn man bei der Darwinschen Theorie die Frage der fortdauernden Senkung des Meeresbodens unerörtert lässt und nur an ihrem eigentlichen Kerne, nämlich einer allmählichen Zunahme des Vertikalabstandes zwischen Meeresboden und Meeresoberfläche, festhält, so ist hierin noch immer die ungezwungenste, natürlichste und wahrscheinlichste Erklärung für die Entstehung der Mehrzahl der Koralleninseln gegeben. Denn es ist mit unseren Kenntnissen thatsächlicher Verhältnisse ebenso unvereinbar, Reihungen von Hunderten gleich hoher Vulkane als die Basis von Koralleninseln anzunehmen, als die Existenz von untermeerischen, mit Abfällen steilster Art versehenen und in nahezu gleich hohen, zahlreichen Kuppen aufragenden Gebirgen vorauszusetzen. Ein derartiges Gebirge könnte seine

Gestalt allein durch die umbildenden Kräfte des Festlandes erhalten haben. Wäre es in das Meer versenkt worden, so hätte es unter keinen Umständen seine Gestalt behalten, sondern würde in mehr oder weniger vollkommenem Grade abradiert worden sein. Korallenbauten allein hätten dies streckenweise hindern können, und um dies zu thun, hätten sie bei der Versenkung zu einem Walle von 1000—2000 Faden Höhe emporwachsen müssen. Ein solcher Wall aber besteht nicht, und selbst die Möglichkeit seines Bestehens könnte am wenigsten von denen zugegeben werden, welche der Hypothese von der Existenz submariner, sehr steiler Hochgebirge als der Basis der Koralleninseln huldigen. Es ist überdies zu bedenken, dass im Stillen Oceane, falls die Unterlage der Korallenbauten sich nur in der für die Existenz der Korallentiere günstigen Tiefe befände, zahlreiche derartige Gebirge aufragen und auf einem Areale von Millionen von Quadratkilometern sämtlich in ihren Gipfeln eine nahezu gleiche Höhe haben müssten.

Soweit die bisherigen Messungen einen Schluss auf die morphographischen Verhältnisse der grossen, inselförmig aufragenden pelagischen Korallenbauten und ihres Untergrundes gestatten, darf man annehmen, dass der Meeresboden in dem Stillen Oceane, als dem Hauptverbreitungsgebiete, aus flachen, langgedehnten, parallelen, zum Teile mit Vulkanen besetzten Bodenschwellen (gleichviel, ob sie früherer Abrasion oder Zusammenschiebungen und Brüchen der Erdrinde ihre Entstehung verdanken mögen) besteht; dass ebenso auf deren breiten, in grosser Tiefe liegenden Höhen, wie auf den aufgesetzten Vulkanen, die von weit ausgedehnten Schuttkegeln umgebenen Korallenriffe sich erheben; dass sich somit das Fortwachsen derselben durch eine zwar oscillatorische, aber doch im wesentlichen im Sinne positiver Strandverschiebung geschehene Aenderung des Meeresspiegels vollzogen hat. Ein senkrechtes Ansteigen der Aussenwände aus der Tiefe, wie es Darwin annahm, ist allerdings mit unseren jetzigen Kenntnissen von der Arbeit des brandenden Meeres nicht mehr zu vereinigen. Manche Riffe mögen eine einzeln aufragende Felskuppe oder den Gipfel eines Vulkans zur Basis und doch ihre Unterlage jetzt in grosser Tiefe unter der Meeresoberfläche haben. Wir kennen vulkanische Inseln, die durch eine Lagune von 100 m Tiefe von dem umgebenden Wallriffe getrennt sind. In solchen Fällen muss eine „Senkung“ vorliegen; denn wären die neueren Anschauungen allein richtig,

so müsste als Unterlage der Korallen ein Ringwall von derselben Gestalt durch andere Meerestiere zu dem für die Ansiedlung der Korallen erforderlichen Niveau aufgebaut worden sein. Derartige Wälle kennt man nicht.

Bei dem Konflikte der Anschauungen über diesen, in wichtige Fragen der Erdgeschichte eingreifenden Gegenstand kann es dem Reisenden nicht dringend genug empfohlen werden, ohne vorgefasste Meinung von Fall zu Fall mit grösster Sorgfalt zu beobachten. Jedes Riff hat seine besondere Geschichte der Entstehung und der Entwicklung. Es kommt noch immer darauf an, die Art und Weise kennen zu lernen, wie beide durch die einzelnen Faktoren beeinflusst werden. Nach Sempers Vorgang sollte im kleinen untersucht werden, welche Aenderungen am einzelnen Korallenstocke durch das Einwirken verschiedener Agentien hervorgerufen werden, und inwieweit ähnliche Aenderungen an dem Gesamtbaue herbeigeführt werden. Andererseits sollte der Zusammenhang der grossen, bei der Erforschung der Korallenbauten in Betracht kommenden Erscheinungen nicht aus dem Auge verloren werden.

§ 185. Trockengelegte Korallenriffe. — Wenn man auf Inseln oder Festländern recente Kalksteinmassen findet, so ist es meist schwierig festzustellen, ob sie Korallenbauten sind, welche durch negative Strandverschiebungen trockengelegt wurden. Ein sicherer Schluss ist gestattet, wenn ein Teil der Masse sich in das Meer herabsenkt und hier noch im Zustande des Fortwachsens begriffen ist. Von solchem nachweisbaren Falle wird der Beobachter Uebergänge zu anderen finden, welche ihm vorher zweifelhaft waren, und er kann Uebung in dem Auffinden festländisch gewordener Riffe gewinnen. Die Untersuchungen über die Aenderungen, welche dabei das Gestein erfährt, sind von Interesse für die Erklärung der Entstehungsart vieler Kalksteine und Dolomite früherer Epochen der Erdgeschichte.

Die Forschung sollte mit dem Gesteine beginnen, welches die noch in der Entwicklung begriffenen Korallenbauten zusammensetzt. An der Bildung desselben nehmen vor allem zwei Elemente teil, nämlich einerseits die festen grossen Korallenstöcke, andererseits der Trümmersand, welcher aus der Zerstörung der Korallenstöcke und aller kalkabsondernden Bewohner der Korallenbauten, insbesondere der Schnecken, der Zweischaler und der Seeigel, hervorgeht. Durch die Cementierung

dieses Sandes, welcher nicht nur die centralen Teile und die Lagune, sondern auch alle zwischen den Stöcken übrig bleibenden Räume ausfüllt und in jede kleine Oeffnung eindringt, entsteht ein festes, graufarbiges, eine körnige Struktur bewahrendes Gestein. Man kann es am besten an solchen Riffen beobachten, die eben dem Meere entstiegen sind. Mit dem Alter, d. h. mit der Dauer des cementierenden Vorganges, und mit der Tiefe unter der Oberfläche des Korallenbaues, scheint der Charakter gewöhnlichen Kalksteines sich immer mehr einzustellen und das Hervortreten der Korallenstöcke, die sich anfangs durch weissliche Färbung kennzeichnen, zu verschwinden. Es sollten die Uebergangsstufen von dem frischen Korallensande und dem Korallenstocke bis zu dem Kalksteine, in welchem beides nicht mehr zu unterscheiden ist, gesammelt werden. Auch ist auf die bankförmige oder schichtartige Absonderung zu achten, welche der Kalkstein unter Druck annimmt, ebenso wie auf etwaige Ausscheidungen der Oxyde von Eisen und Mangan und den von den abgestorbenen Tieren herrührenden Gehalt an Bitumen. Endlich ist der Neigung festländisch gewordener Korallenkalke zur Grottenbildung Aufmerksamkeit zu schenken.

Trockengelegte Korallenbauten finden sich häufig in solchen Küstengebieten, welche ausserdem durch vulkanische Thätigkeit ausgezeichnet sind. Damit tritt ein neues, geologisch interessantes Moment hinzu. Die Beobachtung zeigt das häufige Schwanken, welches in der Entwicklung der Korallen stattgefunden hat. Es zeigt sich, dass bald einzelne, noch nicht zu einem Riffe verbundene Stöcke, bald ein angefangenes Riff von Tuffmassen überschüttet wurden und dann neue Ansätze begannen, die später ein gleiches Schicksal erfuhren. Selbst Lavaströme dürften sich im Kontakte mit Korallenkalk finden lassen, und es wäre dann die Umwandlung des letztern zu untersuchen.

Andere Fragen beziehen sich auf die Art des Untergrundes, auf welchem die Korallenstöcke sich zuerst ansiedelten, und auf die Ausbreitung des Korallensandes und Korallenschlammes ausserhalb der Riffe. Es scheint, dass Korallen sich auf Kalkstein und vulkanischem Gesteine gern ansiedeln, dagegen auf schlammigen Sedimenten und Quarzsand nicht gedeihen. Indessen können Muschelschalen, besonders wenn sie durch Cement verbunden werden, eine geeignete

Unterlage über solchen Gebilden vermitteln. Was den Detritus betrifft, so sollte die Zunahme des schlammigen Charakters mit der Entfernung von der Entstehungsstätte den Charakter des Gesteines beeinflussen. Globigerinen und Schalen anderer Mikrozoen sollten sich in verhältnismässig wachsender Menge einstellen. An manchen Orten wird sich der kalkige Detritus mit den schlammigen Sedimenten der Flussmündungen vermischt haben, an anderen von Tuffmaterial durchsetzt sein, auch wohl mit diesem in einzelnen Lagen wechseln.

Es ist ferner darauf zu achten, ob nicht der Druck, welchen Korallenriffe auf die Unterlage üben müssen, in solchen Fällen, wenn diese aus weicheren Schichtmassen besteht, sich durch ein Einsinken in dieselben und ein seitliches Herauspressen manifestiert. Wird auch der Schuttkegel des Riffes den Effekt haben, eine allmähliche Abminderung des Druckes von der Stelle seines Maximums an zu veranlassen, so wird doch infolge einer gleichbleibenden Meeresströmung in vielen Fällen dieser Schuttkegel, soweit er aus feinem Detritus besteht, nur nach einer Seite hin ausgebildet sein, nach derjenigen Seite hingegen, von welcher die Strömung kommt, ein schnellerer Uebergang von dem stärksten Drucke des Riffes nach demjenigen der Meereswassersäule stattfinden. Wird ein solches Riff trockengelegt, so wirkt der absolute Druck, und es ist denkbar, dass dann noch erhebliche mechanische Wirkungen sich ereignen. Es scheint z. B. vulkanischer Tuffboden für die Ansiedlung riffbauender Korallen sehr günstig zu sein. Gerade in diesem kann eine mächtige aufgesetzte Kalksteinmasse vermutlich tief einsinken.*)

*) Auf diesen Gesichtspunkt dürfte bei weiteren Forschungen in Südtirol zu achten sein. Die dortigen Dolomitriffe tragen vielfache Spuren ihrer Entstehung als Korallenbauten. Unter den Schwierigkeiten, welche für jede andere Erklärungsart unüberwindlich, aber auch für die eben genannte vorhanden sind, steht das scharfbegrenzte Hinabtauchen der Riffkalke in Schichtmassen, welche aus einem Wechsel von Tuffen und Kalktrümmern bestehen. Sie schieben sich zwischen den unteren (Mendoladolomit) und den oberen (Schlerndolomit) bald in bedeutender Mächtigkeit ein, bald in fast verschwindender Dicke, und an vielen Stellen fehlt das Zwischenglied ganz. Es dürfte der Untersuchung wert sein, ob Thatsachen für ein solches Einsinken der Riffmassen an derartigen Stellen sprechen. Man würde in diesem Falle manches analoge Beispiel zu finden vermögen.

§ 186. Morphologische Bedeutung der Korallenbauten. — Die Koralleninseln wurden an einer andern Stelle (§ 176) als parasitische Gebilde bezeichnet, und dasselbe gilt für alle Korallenbauten. Sie entstehen nicht durch unmittelbare Umlagerung des Festen, sondern bauen sich aus Stoffen in die Höhe, welche durch animalische Thätigkeit aus dem Zustande der Lösung abgeschieden wurden, und diese Stoffe haben keine direkte Beziehung zu der Unterlage oder zu den benachbarten Teilen der festen Erdrinde. Hierdurch ist ihnen eine allgemeine morphologische Signatur verliehen. Ein anderes bestimmendes Moment liegt darin, dass der Aufbau von unten nach oben in freier Erhebung und ohne Einschliessung durch Seitenwände stattfindet; nur sekundär ist die horizontale Ablagerung von Detritusschichten damit verbunden. Die morphologische Bedeutung der mächtigen Bauten wird voller gewürdigt werden können, wenn die Formen der jetzigen Koralleninseln näher bekannt sein werden. Das verhältnismässig geringe Vorkommen nachweisbarer mächtiger Korallenfelsmassen in Ablagerungen der Vorzeit dürfte nicht sowohl mit der vielfach verteidigten Permanenz der oceanischen Becken, als mit der Spärlichkeit sicherer Beobachtungen über die Umwandlung von Korallenfels in gewöhnlichen Kalkstein und mit der Lösungsfähigkeit des an Hohlräumen reichen Korallenfelses zusammenhängen. Die Volumina werden in vielen Fällen bedeutend herabgemindert worden sein. Um indirekte Anhaltspunkte für die Beurteilung der Kalksteine mit Rücksicht auf ihre Beziehungen zu vormaligen Korallenbauten zu gewinnen, erscheint es zweckmässig, die auf jetzigen Korallenriffen und an den durch überhängende Massen vor Lichteinfluss geschützten Flanken derselben lebenden Faunen genau zu studieren und mit den unter anderen Verhältnissen existierenden Meeresfaunen zu vergleichen. Man darf voraussetzen, dass die abnormen Verhältnisse besondere Lebensbedingungen hervorrufen, die in der Vorzeit ähnlich waren wie heute.

Von einem andern Gesichtspunkte ist die morphologische Bedeutung der Wallriffe zu beurteilen. Sie gewähren der Küste Schutz vor Abrasion. Die lockeren Tuffkegel der Vulkane des Pacifischen Oceans würden der letztern leicht unterliegen, wenn sie nicht mit einer Schutzmauer umgürtet wären, welche sich in der Regel in gleichem Masse mit dem steigenden Meeresspiegel erhöhen muss und daher auch die höheren

Teile der Kegel vor Zerstörung bewahrt, wenn der Meeresspiegel an sie heranreicht. Nur die atmosphärischen Agentien können dieselbe bewirken. An den Küsten der Festländer ist der Schutz viel weitgreifender als bei den Inseln. Das mächtigste aller zerstörenden Agentien wird durch die Korallentiere lahmgelegt. Es wäre von Interesse, in dieser Beziehung zwei Strecken derselben in positiver Strandverschiebung begriffenen Küste, von denen die eine mit Korallenbauten besetzt, die andere von ihnen frei wäre, miteinander zu vergleichen.

Diese Funktion erstreckt sich noch weiter. Die Wälle schliessen Becken ab, in welche Flüsse münden. Sind auch diese klein, so werden sie doch häufig in tropischen Gegenden hinreichend sein, um ihre Alluvionen in die Korallenbecken vorzuschieben mit der Tendenz, dieselben auszufüllen, anstatt jene nach dem Meere hinauszuführen und den Strömungen zu überliefern.

c. Beobachtungen an vulkanischen Inseln.

§ 187. Die Vulkane und vulkanischen Gesteine sind in einem andern Kapitel (XIV) abgehandelt. Dieselben Beobachtungen, welche dort allgemein angeführt sind, beziehen sich auf die vom Meere umspülten oder nur durch Korallenbauten vom offenen Meere getrennten vulkanischen Berge. Als wesentliches Moment tritt hier die Form hinzu, welche die untermeerischen Teile dieser Inseln annehmen. Da das Wasser die ausgeworfenen Massen (mit Ausnahme der am feinsten zerstäubten) weiter trägt als die Luft, sollten am Boden des Meeres geringere Neigungswinkel geschaffen werden als bei subaërischen Auswurfskegeln, und die Strömungen sollten wegen des geringern Gewichtes, welches die Gesteine im Wasser haben, in höherm Grade als die Winde eine ungleiche Verteilung nach mehr oder weniger begünstigten Richtungen, daher auch eine Ungleichheit des beiderseitigen Abfallwinkels zur Folge haben. Das Senkblei hat dies festzustellen. Von Interesse wäre es, an einem unter dem Schutze von Saumriffen dem Meere entstiegenen und durch Erosionsfurchen in seinem innern Baue aufgeschlossenen vulkanischen Gerüste die Neigungswinkel und Ablagerungsformen der als Tuffschichten niedergeschlagenen Ausbruchsmassen zu studieren, um damit die gewaltigen Anhäufungen von Tuffen zu vergleichen, welche in dem Aufbaue mancher geologischer Formationen eine hervorragende Rolle spielen. Da unter-

meerische Tuffe von Seewasser durchtränkt sind, werden sie der Zersetzung durch saure Dämpfe in anderer Weise ausgesetzt sein als solche, die auf dem Festlande abgelagert werden. Die Einwirkung sollte nicht sowohl in örtlichen intensiven Veränderungen, als vielmehr in einer allgemeinen, aber dem Grade nach geringern Umwandlung grösserer Massen bestehen.

An solchen vulkanischen Inseln, welche unter der vollen Einwirkung der Brandungswelle stehen, kann die intensive Arbeit der letztern beobachtet werden. Infolge des grossen Unterschiedes in der Widerstandsfähigkeit von Lava und Tuffen werden unruhige Linien geschaffen, die in einem Wechsel von Lavavorsprüngen und in Tuff ausgewaschenen Buchten bestehen.

B. Gestalt und Beschaffenheit des Meeresbodens.

§ 188. Gestalt des Meeresbodens. — Die Tiefseeforschung hat das Ergebnis geliefert, dass die Reliefformen des Meeresbodens sanft sind, indem im allgemeinen sehr flache Mulden und Becken mit sehr allmählich sich erhebenden Anschwellungen wechseln und in weiten Strecken vollkommene Ausebnung herrscht. Neigungswinkel von wenigen Minuten walten vor: solche von 6—8 ^{0} sind als bedeutend zu bezeichnen. Steilere Böschungen sind Ausnahmeerscheinungen, und es scheint, dass Abfälle von mehr als 20 ^{0} Neigung nur dort gefunden worden sind, wo vulkanische Ausbrüche, Korallenbauten oder Wälle von Glacialschutt abnorme Verhältnisse in örtlicher Beschränkung verursachen. Ob, wie man erwarten könnte, durch Dislokation veranlasste steilere Abfälle in grösserer Erstreckung vorhanden sind, ist noch nicht bekannt; aber es kann als wahrscheinlich angenommen werden. Die Centralgebiete der Kontinente bieten in den weiten flachen Mulden, welche für sie charakteristisch sind, eine Analogie zu den Formen des Meeresbodens. Aber dieselbe ist einseitig. Denn dort werden die Erhöhungen durch Gebirge verursacht, deren Aufbau aus festem Gesteine zum äusserlichen Ausdrucke kommt. Solche sind, mit Ausnahme mancher Küstenregionen und vulkanischer Ausbruchsmassen, auf dem Meeresboden nicht nachgewiesen worden. Die Anschwellungen desselben beruhen zwar wahrscheinlich zum grössten Teile ursprünglich auf Ungleichheit im Relief des Grundbaues; aber sie konnten durch Sedimente erhöht werden, und manche unter ihnen verdanken gewiss ihre Entstehung gänzlich der Ungleichförmigkeit der Ablagerung derselben.

Die einschlägigen Untersuchungen in ihrer Allgemeinheit sind Aufgabe der Tiefseeforschung. Doch dürfte, wie in so vielen anderen Fällen, die sorgsame Arbeit im kleinen Material für die Lösung grösserer Probleme zu geben im stande sein. Wie der Zoologe mittelst des Schleppnetzes eine Bucht oder ein kleines randliches Meeresgebiet genau erforscht, so kann dies auch von dem Gesichtspunkte der physischen Geographie ohne den Aufwand des Apparates grossartig ausgerüsteter Expeditionen geschehen. Wer die Konfiguration und Zusammensetzung eines Küstengebietes und der dasselbe etwa begleitenden Inseln, sowie die Arbeit der dort mündenden Flüsse und die Art der Brandungswirkung erforscht hat, der besitzt wichtige Anhaltspunkte für die Erklärung des Ursprungs der Gestalt und Beschaffenheit der angrenzenden Teile des Meeresbodens. Die Untersuchung wird dadurch in bestimmte Bahnen geleitet. Die für einen engen Umkreis gewonnenen Schlussfolgerungen werden sich auch auf solche angrenzende Regionen des tiefern Meeresbodens ausdehnen lassen, welche mit den dem Einzelforscher zu Gebote stehenden einfachen Mitteln nicht erreichbar sind, betreffs deren er jedoch die durch Lotungen grössern Massstabes gewonnenen Ergebnisse zu Rate ziehen kann.

Abdachung der Küstenzone. — Unter den Gegenständen, welche sich in unmittelbarer Umgebung von Kontinenten und Inseln der Untersuchung darbieten, ist in erster Linie die Beschaffenheit jener Abdachung zu nennen, welche sich in sehr wechselnder Breite den meisten Küsten anschliesst und im Mittel bis zur Hundertfadenlinie reicht, wo dann in der Regel ein etwas steileres Einfallen beginnt. Wenn auch die Abrasion in zahlreichen Fällen als die Ursache ihrer Existenz zu betrachten sein wird, so ist es doch nicht ersichtlich, weshalb nicht häufiger ein gleichmässiger geringer Abfall bis in grosse Tiefe fortsetzt, sondern meist ungefähr in der Gegend der genannten Tiefenlinie eine Unterbrechung der Stetigkeit stattfindet. Es ist für die Lösung der Frage in Betracht zu ziehen, dass diese Flachboden sich als Ablagerungsflächen für das dem Festlande entnommene Zerstörungsmaterial darbieten, und dass die Tiefe von 200 m demjenigen Abstande von der Oberfläche entspricht, bis zu welchem an den Küsten der offenen Oceane eine Umlagerung durch die Wellenbewegung des stürmisch aufgeregten Meeres nachgewiesen ist. Die Grenzlinie gegen den steilern Abfall dürfte daher ähnlich wie der Stirnrand eines

lakustrinen Schuttkegels (§ 84) zu betrachten sein. Sollte die Erklärung richtig sein, so müsste die Scheidung der Abdachung des an die Küste sich anschliessenden Meeresbodens in eine Zone flachern und eine solche steilern Einfallens, ebenso wie die Breite der erstern und die Tiefe der Trennungslinie im einzelnen Falle von der Masse der zugeführten Sedimente und von der örtlichen Intensität der Wellenbewegung abhängen. Wegen des letztern Umstandes würde sie an den Küsten geschützter Meere in geringerer Tiefe liegen als an denen der offenen Oceane.

Das hier angedeutete Verhältnis ist in Fig. 80 dargestellt, wo *am* das Festland, *ab* die Meeresfläche, *ac* eine 5 km breite Küstenabdachung bis zu der Hundertfadenlinie bei *c* bezeichnet. In *an* ist eine hypothetische Abrasionsfläche angegeben. Es würde dann *ac on* die transgredierend aufgelagerten Sedimente darstellen. Das Problem dürfte sich zur Untersuchung em-

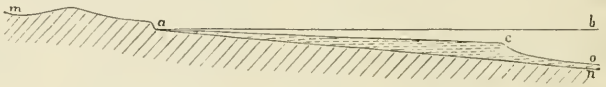

Fig. 80.

pfehlen. Indessen wird eine solche selbst nach dem Rückzuge des Meeres bis zu dem Niveau von *o* schwer auszuführen sein, weil mit der allmählichen Tieferlegung der Meeresfläche auch der Punkt *c* seewärts vorgeschoben werden würde. Die Tiefenbewegung durch das aufgeregte Meer würde einen fortdauernden Transport der Oberflächenteile über *c* hinaus auszuführen streben. Dort würden schwach veränderte Lagerungsverhältnisse eintreten, wie sie in den mächtigen Komplexen thonigsandiger Schichten älterer Formationen wahrzunehmen sind.

Mag auch in dem hier nur als Hypothese hingestellten Verhalten die allgemeinere und verbreitetere Ursache des Vorhandenseins einer flachen Küstenabdachung liegen, so ist doch damit selbstverständlich nicht ausgeschlossen, dass in vielen Fällen der scharf gezeichnete Uebergang von geringer zu grösserer Neigung mit der submarinen Begrenzungslinie des kontinentalen Grundbaues zusammenfallen wird.

Flachboden der Küsten. — Eine häufige Erscheinung sind Untiefen und Bänke, welche bald von der Küste ausspringen, bald durch tieferes Meer von ihr getrennt sind. Auch

hier kann man es mit einer Abrasionsfläche, also mit einem allmählich abgeschliffenen und überfluteten Kontinentalgebiete zu thun haben. Schlamm oder Sand können aufgelagert sein und den Felsbau verbergen. Einzelne aus dem Flachboden aufragende festländische Inseln und Klippen würden diese Erklärungsweise bestärken; auch ist auf die Lage im Verhältnisse zu den Gebirgen des Festlandes zu achten, da die Untiefen deren Fortsetzung bezeichnen können.

Flachböden können auch von der Anhäufung von festem Materiale allein herrühren. Ueberhaupt kann diese zu grossen Ungleichheiten im Relief des Meeresbodens Anlass geben. Um im Einzelfalle den Grad der Wahrscheinlichkeit der einen oder der andern Ursache, zu denen noch als dritte die tektonischen Bewegungen in der Erdrinde kommen, zu prüfen, ist es zweckmässig, sich die bis jetzt bekannten Formen der Sedimentbildung auf dem Boden des Meeres klar zu machen.

Sedimentbildung auf dem Meeresboden.

§ 189. Um die festen Niederschläge im Meere zu verstehen, hat man einerseits die Stoffteilchen nach Art und Herstammung, andererseits die bewegenden und den Ort der Ablagerung bestimmenden Kräfte zu betrachten. Die letzteren beschränken sich in der Hauptsache auf das im Zustande eigener Bewegung transportierende Wasser und auf die spezifische Schwere der transportierten Teilchen im Verhältnisse zu ihrem Rauminhalte und ihrer Gestalt; es kommen dazu: die Wärme in dem Falle des Materials der Eisdrift und alle lebenbedingenden Kräfte für die Anhäufung organischer Wesen. Die Stoffe können sein:

1) Abrasionsprodukte der Festländer und festländischen Inseln nebst dem durch Flüsse in das Meer geführten Detritus;
2) die durch die Flüsse in das Meer getragenen gelösten Stoffe, welche zu Ausscheidungen in fester Form verwendet werden können;
3) Auswurfsmaterial der Vulkane;
4) äolisch transportierter Staub;
5) Driftmaterial, d. h. feste Massen, welche durch schwimmendes Eis transportiert werden;
6) Abrasionsprodukte der Koralleninseln;
7) die kalkigen und kieseligen Ausscheidungen schwimmender Organismen;

8) die festen Ausscheidungen und Gehäuse am Boden des Meeres lebender Organismen;
9) kosmische Stoffe.

Betreffs der Herstammung des Materials ist zu beachten, dass es, soweit es tellurischen Ursprungs ist, einerseits (1, 3, 4, 5) unmittelbar aus der mechanischen Zerstörung der Festländer hervorgeht, andererseits (2) ihrer chemischen Zerstörung ursprünglich entstammt und erst (6, 7, 8) ein Stadium der Verfestigung durch Abscheidung im Meere durchgemacht hat, ehe es einer zweiten mechanischen Zerstörung und dem mechanischen Transporte unterlag. Einige der genannten Stoffe haben eine allgemeine oder doch sehr weite Verbreitung; aber nur für diejenigen von kosmischem Ursprunge kann sie als überall ungefähr gleichartig angenommen werden. Alle anderen haben besondere Gebiete, für welche ihre Anhäufung charakteristisch ist und formgebend wirkt, wenn auch ausserhalb dieser Gebiete die Verbreitung, wie z. B. diejenige des vulkanischen Auswurfsmaterials, eine allgemeine ist. Nur die regionale Massenanhäufung kann hier betrachtet werden.

1) Das aus der mechanischen Zerstörung der Festländer hervorgehende Material wird, abgesehen von dem Eistransporte, dem Meere in verschiedener Weise zugeführt. Die Ströme bringen es aus den inneren Gebieten der Kontinente. In der Berührung mit dem Meereswasser sinkt das Gröbere schnell zu Boden (§ 86), das Feinere wird durch Strömungen mitgenommen (§ 158). Das durch die Brandungswelle zertrümmerte (§ 153) und auf dem Strande aufbereitete (§ 154) Gesteinsmaterial wird zum Teile auf der Abrasionsfläche abgelagert (§ 163), zum Teile entlang der Küste fortgeschoben und zum Aufbaue von Küstenwällen verwendet (§ 155), zum Teile wird es durch den rückläufigen Unterstrom der strandenden Wellen in das Meer geführt. Der gröbere Sand wird bald niedergeschlagen, zum Teile aber nach dem Strande zurückgetragen, wo er entweder einer weitern Abreibung unterliegt und zu dauernder Ablagerung kommen kann oder in Gestalt von Dünen dem Einflusse des Meeres entzogen wird. Die feineren Teilchen von Quarz und anderen Mineralien jedoch bleiben nebst feinem Schlamme und Glimmerblättchen in Suspension und gelangen erst in grösserer Entfernung zum Absatze. Man nimmt an, dass die Zone der dadurch gebildeten Randablagerungen im Durchschnitte eine Breite von 250 km

hat; doch ist diese oft erheblich geringer, während sie andererseits einen weit höhern Betrag, z. B. an der Küste von Brasilien einen solchen von 600 km, erreicht. Man kann sie als die Kontinentalzone des Meeresgrundes bezeichnen. Sie umzieht Kontinente und Inseln und nimmt die Boden der Binnen- und Randmeere gänzlich ein. Von Tiefenverhältnissen scheint sie wenig abhängig zu sein. Es lassen sich in ihr zwei Unterzonen unterscheiden, nämlich diejenige der vorwiegend sandigen und diejenige der schlammigen Ablagerungen. Die erste umfasst in Europa den Hundertfadenboden, greift aber noch über ihn hinaus. Ihr Areal ist an manchen Stellen unterbrochen, indem der Boden dort, wo er von starken Strömungen gefegt wird, aus nacktem Gesteine besteht. Es ergiebt sich daraus ein sehr bedeutender Einfluss der Strömungen auf den Transport und die Umlagerung der Sedimente innerhalb dieser Zone. Beides wird durch die bis 200 m Tiefe den Sand erregenden Meereswellen befördert. — Die zweite Zone des blauen und grünen Kontinentalschlammes folgt, nach den durch die vereinigten Arbeiten von Murray und Renard (*Nature* 1884) übersichtlich dargestellten Forschungen der „Challenger"-Expedition, überall auf die erste und kommt bis zu Tiefen von 5000 und selbst 7000 m vor. Man darf annehmen, dass dieser Schlamm aus einer Mengung der fein zerriebenen Bestandteile aller an dem Baue der Kontinente teilnehmenden Gesteine besteht. An der Zusammensetzung des blauen Schlammes beteiligen sich neben thonigen Substanzen in absteigendem Mengenverhältnisse: Quarz, Glimmer, Feldspat und Hornblende. Die Korngrösse ist meist geringer als 0,5 mm, erreicht aber in einzelnen Körnern 2 cm. Der grüne Schlamm hat die gleiche Zusammensetzung, erhält jedoch eine besondere Färbung durch Glaukonitkörner, deren Bildung auf einer Verwandlung des Eisenoxydes in Eisenoxydul mittelst organischer Substanzen zu beruhen scheint. An der Ostküste von Südamerika, von Cap St. Roque bis Bahia, also in einer Strecke, in welcher die von Norden kommende Strömung den aus dem Lande kommenden Laterit (§ 206) verteilen kann, ist der Schlamm rot gefärbt. In den Umgebungen oceanischer Inseln besteht er entweder aus vulkanischem oder aus Korallenmaterial und zuweilen stellt er eine Mischung von beiden dar. Alle solche Fälle, wo dem Meeresschlamme ein einheitlicher Ursprung zugewiesen werden kann oder eine besondere Einwirkung durch

einen färbenden Bestandteil ersichtlich ist, sind der Untersuchung in hervorragendem Masse wert, um zur Vergleichung mit älteren Gesteinen benutzt zu werden.

Die Forschung sollte auch auf die Frage gerichtet werden, inwieweit die die Kontinentalküsten in der angegebenen Breite begleitende Zone mechanischer Sedimente mit der Breite der den Küsten folgenden beständigen Strömungen zusammenhängt, und ob nicht dort, wo letztere den Kontinent verlassen, eine Fortführung in sehr viel grössere Fernen und eine entsprechende Ausdehnung der Ablagerungsgebiete stattfindet. Das Herabsinken der Schlammteilchen durch eine Wassersäule von Tausenden von Metern muss selbst im Meere so langsam geschehen, dass sie den untern Teil der Strömung kaum erreicht haben sollten, wenn diese von der Küste hinweggewendet bereits einen Weg von einigen hundert Kilometern von ihr aus zurückgelegt hat. Von dem Boden der Strömung ist oft noch ein weiter Weg bis zum Meeresboden; es dürften für die feinsten Teilchen Jahre erforderlich sein, um ihn zurückzulegen. Eine Beförderung der Ablagerung sollte dort eintreten, wo zwei verschieden gerichtete Strömungen zusammentreffen. An anderen Stellen gehen von den konstanten und schnellen Hauptströmungen Teilbewegungen nach ruhigeren Meeresregionen ab. Auch dorthin sollten suspendierte feine Teilchen geführt werden. Es ist daher wahrscheinlich, dass die den Festländern entstammenden feinerdigen Sedimente nicht auf die Zone des grünen und grauen Schlammes beschränkt sind, sondern, wenn auch in verhältnismässig geringer Menge, über grosse Gebiete der Oceane verteilt werden.

Ein hiermit verbundener Gegenstand, welcher noch der Aufklärung bedarf, ist die Frage, ob der hohe Druck des Wassers in grossen Tiefen eine erhebliche Verzögerung in dem Niederfallen der Teilchen bedingt.

2) Die dem Meere in chemischer Lösung zugeführten Stoffe sind früher von Gustav Bischoff und Forchhammer, in neuerer Zeit von Mellard Reade (*Proc. Liverpool geol. soc.* 1875 und 1885) untersucht worden. Insbesondere hat letzterer ihren ausserordentlich hohen Betrag erwiesen. Wenn man den Gehalt des Wassers der Ströme an gelösten Stoffen in der Nähe ihrer Mündungen bestimmt und den Betrag derselben, welcher dadurch alljährlich in das Meer geführt wird, berechnet, so kann man durch Division mit dem Areale des Strombeckens finden, welche Menge dieser Stoffe an Gewicht von

jeder Raumeinheit des Strombeckens in jedem Jahre entnommen wird. Dieser Betrag stellt sich für jeden Quadratkilometer des Mississippibeckens auf 46 000 kg, für den Amazonenstrom auf 20 000 kg, für den La Plata ähnlich wie beim Mississippi, für den St. Lorenz auf 77 000 kg, für die Donau auf 36 000 kg, für ganz England auf 55 000 kg, sodass man (unter Voraussetzung richtiger Berechnung) für diejenigen Teile der Kontinente, welche ihre Gewässer nach dem Meere senden, einen Durchschnitt von wenigstens 40 000 kg auf den Quadratkilometer annehmen kann. Die jährliche Gesamtmasse beträgt beispielsweise bei dem Mississippi 150 000 Mill. kg. Bemerkenswert ist, dass von dieser erstaunlichen Menge nach den allerdings sehr spärlichen Analysen ungefähr die Hälfte aus kohlensaurem Kalke mit etwas kohlensaurer Magnesia und der sechste Teil aus Kieselsäure besteht. Angesichts dieser Zahlen, die zu weittragenden Schlussfolgerungen und Betrachtungen Anlass geben können, erscheint es wünschenswert, weitere Thatsachen in der angegebenen Richtung zu sammeln. Auch betreffs der genannten Flüsse sind Bestätigungen erforderlich. Wasserproben sollten in verschiedenen Jahreszeiten zum Zwecke chemischer Analyse entnommen, und an deren Hand die Gesamtmenge der während derselben Zeiten des Jahres täglich in Lösung entführten Stoffe berechnet werden. Dies ist allerdings nur möglich, wenn die ausströmende Wassermasse bekannt ist. Der Ort, an welchem man die Wasserprobe sammelt, muss ausserhalb des Einflusses des Meerwassers gelegen sein. Untersuchungen dieser Art würden eine wesentliche Vervollständigung erfahren, wenn ihnen die einzelnen Teile eines Stromes gesondert unterworfen würden. Man könnte dahin kommen, zu bestimmen, in welchem Masse die Gebirgsanteile und die Flachlandsanteile eines Strombeckens oder auch einzelne Zuflüsse an dem Gesamtresultate beteiligt sind. In welchem Grade in den einzelnen Teilen eines Stromes, ebenso wie in den verschiedenen Jahreszeiten an derselben Stelle, Schwankungen in der Gesamtmenge der gelösten Substanzen, in deren Verhältnis zu der Menge der schwebenden Bestandteile und in der relativen Beteiligung der einzelnen gelösten Stoffe stattfinden können, haben die Analysen des Rheinwassers durch Gustav Bischoff gezeigt.

Die gelösten Stoffe gehen in die Gesamtmasse des Meerwassers über. Eine Ausscheidung derselben im offenen Oceane

und an dessen Küsten geschieht, so viel man weiss, nur durch organisches Leben. Niederschlag durch Kristallisation kennt man nur an solchen Stellen, wo dem Oceane Wasser entzogen und einer Eindampfung ausgesetzt wird, wie dies aus den Vorgängen in Seen (§ 122) ersichtlich ist.

3) Des Auswurfsmaterials der Vulkane wurde bereits bei der Besprechung der vulkanischen Inseln (§ 187) gedacht. Ausser den gröberen Massen, welche grosse Ablagerungen bilden, ist fein zerteilter Bimsstein allenthalben auf dem Meeresgrunde gefunden worden.

4) Das durch den Wind über den Ocean verteilte Material dürfte eine nicht unerhebliche Rolle in der Zusammensetzung der Sedimente der Tiefsee spielen, wiewohl die trockenen Teile der Kontinente, welche den Staub liefern, ein sehr geringes Areal im Verhältnisse zu den Meeresräumen einnehmen und auch von ihnen nur ein Bruchteil in hinreichend günstiger Lage zum Meere sich befindet. Da jedoch der Staub ebensowohl auf Strömungsgebieten, wie auf den von ihnen umkreisten ruhigen Gebieten des Meeres niederfällt und erst nach langen Zeiträumen den Grund erreichen kann, so sollte er eine noch allgemeinere Verbreitung auf dem Meeresboden haben als der durch Abrasion und Ströme gelieferte Schlamm. Allerdings wird er nirgends regionale Anhäufungen für sich allein bilden, sondern nur in den Bestand aller Sedimente eingreifen.

5) Das durch die Eisdrift dem Meere gelieferte Gesteinsmaterial muss in den Zeiten, als das Gletschereis die Funktion hatte, die Felsgerüste der cirkumpolaren Gebiete in weiter Ausdehnung von der durch die Tiefenzersetzung (§ 48) entstandenen mächtigen Decke gelockerter Massen zu entkleiden (§§ 106, 111), ausserordentlich bedeutend gewesen sein. Die Wege der schwimmenden Eismassen sollten daher durch eine beträchtliche Erhöhung des Meeresgrundes mittelst kontinuierlicher Anhäufungen von Felsstücken, lockerm Erdreiche und zerriebenem Gesteine bezeichnet sein. Die weite Verbreitung erhöhter Flachboden von den Polarmeeren aus in die Meere der gemässigten Zonen hinein ist nach und nach erwiesen und von F. G. Hahn (Ausland 1882) auf die hier angegebene Ursache zurückgeführt worden. Die Tiefseeforschung kann durch genaue Untersuchung der Grundproben zu der Aufklärung dieses Gegenstandes beitragen. Sollte in der That eine andere

Ursache für die Entstehung des antarktischen „Plateaus“ nicht zu finden sein, so würde hierin der bündigste Beweis für die Existenz eines grössern antarktischen Kontinents gegeben sein. — Da die Wege der Eisberge durch die Strömungen bestimmt wurden und an gewissen Stellen derselben, wo diese sich mit warmem Wasser berührten, beschleunigtes Abschmelzen geschehen sein muss, so sollten auf dem Meeresboden hohe Trümmerwälle vorhanden sein und diese stellenweise die Neigungswinkel von Gesteinsaufschüttungen haben. Einige der auf dem Meeresgrunde bis jetzt allerdings sehr spärlich und stets in geringer Ausdehnung nachgewiesenen steilen Böschungen scheinen in der That damit zusammenzuhängen. Nach dem früher Gesagten bedarf es hier kaum noch eines Hinweises darauf, dass die Schuttführung der gegenwärtigen Eisberge in keiner Weise einen Anhalt für den Grad der Beladung der ehemaligen mit Gesteinsmaterial giebt.

Neben dem Aufwerfen von Wällen sollte man eine Verwendung des von den Gletschern gelieferten feinzerriebenen Materials zur Bildung weiter Ausebnungen erwarten, besonders in den südlichen Meeren, wo der im ganzen gleichmässig bleibende Seegang einen mechanischen Einfluss der Wellenbewegung bis in erhebliche Tiefe hinab veranlassen und die Strömungen ebenfalls infolge ihrer Beständigkeit einen grossen Vertikalbetrag erreichen müssen.

6) Korallensand und Korallenschlamm wurden als Bildner untermeerischer Ablagerungsmassen bereits (§ 183) betrachtet.

7) Die pelagische Fauna und Flora, welche aus stets frei schwimmenden Pflanzen und Tieren besteht, kommt nur insoweit in Betracht, als diese Organismen feste Ausscheidungen haben. Die bedeutende Rolle, welche ihre kalkigen und kieseligen Panzer spielen, ist erst in neuester Zeit bekannt geworden. In den kalten Polarmeeren walten die artenreichen, kieselschaligen Diatomeen vor, welche am Tage und bei hohem Sonnenstande an die Oberfläche kommen, aber bei Nacht und bei tiefem Sonnenstande nach den Tiefen hin verschwinden. In warmen Meeren beschränken sie sich auf die Flussmündungen. Ihre Stelle im offenen Oceane wird dort durch die Oscillarien eingenommen. Eine ungemein wichtige Rolle hat sich für die kieselschaligen Radiolarier, von deren wunderbar zierlichen Kieselpanzern man durch Häckels Untersuchungen gegen 3000

Arten kennt, und für die kalkschaligen Foraminiferen ergeben. Die Ursachen, weshalb bald diese, bald jene vorwalten oder in regionaler Verteilung ausschliesslich vorkommen, sind nicht bekannt. Auch erscheint es zweifelhaft, ob dieselben Arten in verschiedenen Tiefen bis auf den Meeresgrund leben können und ob die auf letzterm lebend gefundenen Formen auf ihn beschränkt sind. Zu untersuchen ist ferner die Funktion der Lichtstrahlen, welche sich in dem Abwärtssteigen der pelagischen Fauna (einschliesslich der das Meerleuchten hauptsächlich verursachenden Formen von Pyrocystis und Noctiluca und der fast nur bei Nacht, oft in grossen Schaaren erscheinenden Heteropoden und Pteropoden) zur Tageszeit und ihrem Emporkommen zur Nachtzeit bekundet. Neben ihnen kennt man noch viele andere, zum Teile grössere, bei Nacht leuchtende Tiere; doch ist es nicht bekannt, worauf die verschiedene Farbe des Meerleuchtens, z. B. die zeitweilige smaragdgrüne Färbung in Buchten der japanischen Meere beruht. Die pelagische Fauna meidet die seichten Meere und die Nähe der Küsten; es ist noch festzustellen, ob die Vermutung richtig ist, dass dies mit der Unmöglichkeit des Rückzuges in hinreichend grosse Tiefe zusammenhängt oder ob das Fernhalten von den Küsten auf die Störung der Lebensfunktionen durch suspendierte Schlammteilchen zurückzuführen ist. — Eine besondere Erscheinung bieten die Sargassomeere, in welchen die durch Strömungen von den Küsten herzugeführten und in dem stillen Wasser fortwuchernden Algenmassen eine Art schwimmender Litoralfauna hervorrufen.

Die festen Gehäuse und Ausscheidungen der pelagischen Fauna sinken allmählich auf den Meeresgrund. Sie werden ihn in um so grösserer Entfernung von dem Orte, wo die Organismen lebten, erreichen, je mehr ihre Kleinheit, Dünnschaligkeit und ausgezackte Gestalt dem Sinken Widerstand leisten. Auf direkterm Wege werden die grösseren Gehäuse, insbesondere der Bewohner der Sargassomeere, zu Boden sinken und durch ihren litoralen Charakter dort eine abnorme Mengung mit Resten der rein pelagischen Fauna verursachen.

8) Die am Boden des Meeres lebenden Organismen wirken an Ort und Stelle bodenerhöhend. Wenn sie aber in mässigen Tiefen unter dem Einflusse kräftiger Strömungen frei oder mit verweslichem Apparate angeheftet leben, dürften Zusammenschwemmungen am Meeresgrunde selbst geschehen;

und wenn sich ihre Gehäuse in dem Bereiche der mechanischen Einwirkung der Meereswellen (§ 149) und noch höher in demjenigen der Brandung befinden, erfahren sie eine bedeutende Umlagerung. Diese mechanischen Einflüsse und die Ablagerung von Zerstörungsprodukten in der Küstenzone dürften zu den Agentien gehören, welche der Differenzierung der Fauna gegen die Tiefen hin zu Grunde liegen. Andere sind: die Aenderung der Temperatur und die Abnahme der eindringenden Lichtstrahlen. Da man annimmt, dass diese bei ungefähr 100 m Tiefe die äusserste Grenze erreichen, so hat man darin ein wesentliches Moment für die Scheidung der Faunen an dieser Grenze erblickt. Doch sollten über die Absorption der Lichtstrahlen noch weitere Untersuchungen mit den empfindlichsten Reagentien ausgeführt werden.

In oberen Tiefen bietet die Fauna der zwischen Ebbe und Flut eingeschlossenen Litoralzone Gelegenheit zu Beobachtungen über den zersetzenden Einfluss, welchen die festsitzenden Tiere auf das Gestein ausüben. — In der darauf folgenden Zone, welche ungefähr bis zu 30 m Tiefe reicht, wird der Charakter in den kälteren Meeren durch die Laminarien oder Riementange, in den tropischen durch die riffbauenden Korallen gegeben. Sie ist der Sitz der grossen Muschelbänke, insbesondere derjenigen der Austern, und der Wohnplatz der meisten lebhaft gefärbten Schaltiere. In keiner Zone findet eine so bedeutende Ueberführung des im Meereswasser gelösten Kalkes in die feste Form des Kalkkarbonates durch organische Thätigkeit statt. Wo solche Untiefen sich in warmen Meeren auf grosse Entfernung vom Lande erstrecken und der Ablagerung der kontinentalen Sedimente entzogen sind, sollte bei langsamem Hinabsinken unter die Meeresoberfläche auch in korallenfreien Gebieten eine bedeutende Ansammlung von Kalkmassen stattfinden können. Beobachtungen hierüber, sowie über trockengelegte Kalksteinbänke, welche in diesen Tiefen aufgebaut wurden, würden besonderes Interesse besitzen. — In der Tiefe von 30—100 m sind die kalkaussondernden Algen aus der Familie der Korallineen und Lithotamnien (Nulliporen) charakteristisch, obwohl die letzteren an Korallenriffen im Niveau der Ebbe bauen und bis zu 300 m Tiefe lebend gefunden worden sind. Die festen Gerüste der Lithotamnien haben für die Tertiärformation eine grössere formgebende Bedeutung gehabt, als ihnen in der Gegenwart zukommt. Ein erhöhtes Interesse gewinnen diese Bauten

dadurch, dass kalkabsondernde Algen (als Genus Gyroporella bezeichnet) zum Aufbaue gewisser Alpenkalke aus der Triasepoche wesentlich beigetragen haben. Sollten Organismen dieser Art, was nicht unmöglich erscheint, vollkommene Riffbauer in früheren Zeiten gewesen sein, so würden die von ihnen aufgeführten Bauten wahrscheinlich in vielfacher Hinsicht von denen der Korallen verschieden gewesen sein. Zwar würde auch bei ihnen die Nahrungszufuhr von aussen wahrscheinlich die Tendenz zu äusserm Anwachsen und randlicher Gesamtanordnung hervorgerufen haben; aber es hätte wahrscheinlich die Lebensthätigkeit in grösseren Tiefen stattgefunden als bei den Korallentieren, und das vegetative Leben dürfte gegen Verunreinigungen weniger empfindlich gewesen sein als das animalische. Man würde vielleicht durch das Wuchern der Kalkalgen auf einem für sie günstigen, flachen, in geringer Meerestiefe gelegenen Boden die merkwürdigen Einlagerungen von Kalksteinbänken zwischen sandigen und thonigen Schichtgesteinen erklären können. Es ist dafür wie bei den Korallenbauten wünschenswert, den Charakter der mit den Kalkalgen zusammen vorkommenden Meeresfauna kennen zu lernen. Die Verfolgung dieses Gegenstandes bietet angesichts der heutigen Tiefseeforschung nicht geringes Interesse.*)

Die Tiefenlinie von ungefähr 100 m scheint eine wichtige Scheide zu sein. Es beginnt unter ihr die Zone der Tiefsee-Korallen und der Brachiopoden, welche von einigen bis zur Tiefe von 200 m, von anderen bis zu derjenigen von 500 m gerechnet wird. Der Charakter der Tiefgründe beginnt sich einzustellen, wenn er auch seine volle Ausbildung erst ungefähr 500 m unter der Oberfläche erhält. Gut untersucht ist in dieser Zone das Pourtalèsplateau nahe der Küste von Florida,

*) Die hier ausgesprochene Erwartung bestätigt sich im Augenblicke des Druckes, indem dem Verfasser ein Aufsatz von Dr. Johannes Walther „Ueber die gesteinsbildenden Kalkalgen des Golfes von Neapel und die Entstehung strukturloser Kalke“ (Zeitschr. d. deutschen geolog. Gesellsch. 1885) zugeht, in welchem die zwischen 30 und 70 m Tiefe bauenden und Bänke bildenden Nulliporen bei Neapel einer Untersuchung unterworfen werden und das Resultat die Grundlage zu einer Theorie der Entstehung des vorwiegenden Teils der mächtigen Dachsteinkalke aus Kalkalgen giebt. Die Schrift zeigt, in welchem Masse die Forschung über das jetzige organische Leben im Meere, selbst in den geringen Tiefen der Küstenzone, das Verständnis genetischer Vorgänge der Vergangenheit zu fördern vermag.

welches bei der Tiefe von 90 Faden beginnt und zu derjenigen von 300 Faden allmählich abfällt, ohne die Fauna wesentlich zu ändern. Es wurde (§ 184) erwähnt, wie die massenhafte Anhäufung kalkiger, zum Teile auch (wie bei den Glasschwämmen) kieseliger Gehäuse und Absonderungen auf diesem Meeresboden der neuern Theorie über die Korallenriffbildung zur Stütze dient. Die Ablagerungen dieser Zone dürften insbesondere dort, wo die Tiere in grünen und grauen Schlamm eingebettet werden, einen Anhalt zur Erklärung mancher alter, insbesondere paläozoischer Schichtgebilde geben, wo Einzelkorallen, Crinoideen und Brachiopoden mit anderen Meerestieren in grosser Zahl, aber doch zerstreut in grünen und grauen kalkigen Schieferthonen eingeschlossen sind. Sollten hier analoge Bildungen vorliegen, so würden sie den grossen Anteil erweisen, welchen in dieser Zone die Fauna an dem Schichtenaufbaue nehmen kann.

Neben der Thatsache, dass man innerhalb der bisher genannten Tiefenzonen arktische, subtropische und tropische Regionen unterscheiden kann, was in der Tiefe unterhalb 500 m nicht mehr der Fall ist, ist es bemerkenswert, dass in den Tropen innerhalb dieses Tiefenraumes eine tierarme Region zwischen den Isobathen von 60 und 150 m vorhanden, die beginnende Tiefseefauna also von der obern geschieden ist, während in gemässigten Breiten diese sterile Zwischenzone nicht bekannt ist, und in arktischen Meeren die Region zwischen 80 und 120 m Tiefe ein reiches Tierleben besitzt.

Inwieweit das Tierleben unterhalb der Zone von 500 m an dem Aufbaue der Sedimente direkt teilnimmt, ist wenig bekannt. Man hat Zweischaler zahlreich in Tiefen von 500—2000 m, Gastropoden häufig unter 3000 m, aber nicht über 4000 m hinaus, unter den Brachiopoden eine Terabratula bis 5300 m, Polypen hingegen kaum jenseits der Tiefe von 3000 m gefunden. Im allgemeinen kann man eine Zone zwischen den Isobathen von 500 und 1500 m, wo in tropischen und gemässigten Breiten fast überall die Temperatur von + 4° C. herrscht, und eine zweite von 1500—5000 m und etwas darüber unterscheiden. In noch grösseren Tiefen kennt man kein tierisches Leben.

9) Diejenigen Bestandteile der Tiefseeablagerungen, welchen man kosmischen Ursprung zuschreibt, werden für dieselben charakteristisch, wo andere Sedimentmassen auf ein Minimum beschränkt sind.

§ 190. Gebiete der pelagischen Ablagerung. — Da manche der genannten Bestandmassen niemals, andere nur selten für sich allein den Charakter der Sedimente des Meeresgrundes bestimmen, sondern wesentlich Mengungen von mehreren derselben vorkommen, so hat man für die Bezeichnung der regionalen Unterschiede diejenigen Bestandteile gewählt, welche in einzelnen Gebieten vorherrschen. Neben der sandigen Litoralzone und den ebenfalls die Kontinente und Inseln umgürtenden Gebieten des grauen und grünen Schlammes, für welchen in den Umgebungen pelagischer Inseln der vulkanische Schlamm und der Korallenschlamm eintreten, hat man den wesentlich aus kalkigen Rhizopodengehäusen zusammengesetzten Globigerinenschlamm, den aus den Kieselpanzern anderer Rhizopodenfamilien bestehenden Radiolarienschlamm und den ebenfalls aus kieseligen Ausscheidungen gebildeten Diatomeenschlamm unterschieden.

Der Globigerinenschlamm wird in der Regel erst jenseits des Bereiches der Kontinentalablagerungen und in wenigstens 1000 m Tiefe so charakteristisch, dass man ihm diesen Namen geben kann, reicht aber nicht bis unter die Tiefe von ungefähr 5000 m. Auch innerhalb der so begrenzten Region ist seine Verbreitung beschränkt. Er ist im Süden jenseits des 50. Breitengrades nicht angetroffen worden, ebensowenig im nordischen Eismeere, wo an seine Stelle jenseits der Tiefe von 1800 m der ebenfalls kalkige Biloculinenschlamm tritt. Ebenso fehlt er den geschlossenen Meeren, wird aber auch hier teilweise durch ähnliche Gebilde, z. B. im amerikanischen Mittelmeere durch den Pteropodenschlamm, ersetzt. Im offenen Atlantischen Oceane lagert er wesentlich unter dem Golfstrome und fehlt unter den kalten Strömungen.

Die grossen Tiefen sind durch den sogenannten roten Thon eingenommen. Derselbe besteht aus feinen Teilchen von ungefähr 0,05 mm mittlerm Durchmesser, welche sich grösstenteils als Thonsubstanz erwiesen haben. Daneben aber kommen Mineralteilchen vor, unter denen Bimssteinsplitter und Sand erkannt worden sind, während andere als Gletschermaterial gedeutet wurden. Kieselschalige Mikrozoen fehlen selten und sind zuweilen in grosser Menge vorhanden. Ausserdem kommen Manganknollen, Haifischzähne und Gehörknochen von Walfischen vor. Der rote Thon beginnt in der Tiefe von ungefähr 4200 m und nimmt unterhalb derselben den grössten Teil der Tief-

gründe der Oceane ein. Er ist im Nord- und Südatlantischen und im Indischen Oceane nachgewiesen, hat aber sein grösstes Verbreitungsgebiet im Pacifischen Oceane. Man kennt ihn nicht über 45 ^{0} nördlicher und südlicher Breite hinaus. Anfangs betrachtete man ihn im wesentlichen als die Anhäufung der nach der Auflösung der kalkigen Foraminiferengehäuse mittelst der im Meerwasser enthaltenen, in der Tiefe zunehmenden Kohlensäure noch übrig bleibenden mineralischen Bestandteile, indem man gefunden hatte, dass der Globigerinenschlamm von der Tiefe von 4300 m an sich rötlich zu färben beginnt und die Gehäuse schwächer werden, bis sie in 5000 m Tiefe verschwinden. An die Stelle dieser Theorie trat die zweite, dass der rote Thon das unmittelbare Zersetzungsprodukt basischer vulkanischer Gesteine sei. Allein die Beteiligung auf wässerigem Wege zugeführter feinster Bestandteile von kontinentalem Schlamme erscheint nach dem oben Gesagten keineswegs ausgeschlossen und als vollkommen sicher ist diejenige äolisch verteilten Staubes zu betrachten.

Unabhängig von der Tiefe ist die Verbreitung der kieseligen Panzer und Skelette der Radiolarier und Diatomeen. Dieselben nehmen teil an den Ablagerungen der Flachsee, sind im Globigerinenschlamme mit Kalkgehäusen gemengt und finden sich im roten Thone der tiefsten Meeresgründe. Bis zu mehr als 8000 m Tiefe hat man den wesentlich aus Kieselpanzern zusammengesetzten Radiolarienschlamm gefunden, welcher in charakteristischer Gestalt grosse Räume bedeckt, aber ebenso in weit grösseren Räumen fehlt. Der Diatomeenschlamm nimmt seine Stelle in kalten Meeren ein.

Die künftige Forschung wird die Verbreitungsgebiete dieser einzelnen Formen von Tiefseeablagerungen noch bestimmter abzugrenzen und die Ursachen ihres Vorhandenseins in gewissen Regionen und ihres Fehlens in anderen zu ergründen haben. Sie konnten an gegenwärtiger Stelle nur zur Vervollständigung eine beiläufige Erwähnung finden. Wer in einem enger begrenzten, durch Sonde und Schleppnetz leichter zu erforschenden Gebiete arbeitet, wird hier vielleicht im kleinen Gesichtspunkte gewinnen können, welche auf die allgemeineren Erscheinungen Licht zu werfen geeignet sind.

Elftes Kapitel.

Beobachtungen über die mechanischen Wirkungen der atmosphärischen Strömungen auf dem Festlande.

§ 191. Bis vor kurzer Zeit wurde dem Winde wenig Beachtung über seine klimatische Bedeutung hinaus geschenkt. Indem er die über den Meeren aufgenommene Feuchtigkeit in die Länder hineinträgt und entweder dieselbe je nach seiner Richtung und den Formen und Temperaturverhältnissen des Bodens, welche das Ansteigen der Luft im einen, ihr Herabsenken in einem andern Falle veranlassen, zum Niederschlage bringt oder wegen ungenügenden Feuchtigkeitsbetrages mehr Wasser aufzunehmen strebt und daher trocken über die Kontinente weht, beeinflusst er indirekt die Existenzbedingungen der gesamten organischen Welt und die durch die mechanische Arbeit fliessender Gewässer entstehende Mannigfaltigkeit der Bodenformen. Ebenso ist es seine auf die Meereswellen übertragene und durch sie fortgepflanzte Kraft, welche in der Zerstörungsarbeit der Brandungswelle (§ 153 ff.) gewissermassen in konzentrierter Form zur Geltung kommt, und er veranlasst in erster Linie die Strömungen des Meeres. Durch neuere Untersuchungen hat sich jedoch der Wind auch als ein überaus wichtiges unmittelbares Agens in der Umgestaltung der festen Erdoberfläche erwiesen. Es sind die Beobachtungen in dieser Richtung, auf welche in dem gegenwärtigen Kapitel hingewiesen werden soll. Sie lassen sich nicht an eine bestimmte Kategorie von Oertlichkeiten knüpfen, wie diejenigen, welche in den vorangegangenen Abschnitten erörtert worden sind, sondern können allenthalben angestellt werden.

Ist auch die Wirkung des Windes am ersichtlichsten und am grossartigsten in den trockenen Centralgebieten der Kontinente, so ist doch ihre Funktion wahrscheinlich noch wichtiger in pflanzenbedeckten Gebieten, wo sie dem Betrage nach weit zurücktritt.

Das Bett der Luftströmungen ist die Erdoberfläche mit allen Mannigfaltigkeiten ihrer Gestaltung. Es weicht weit von demjenigen des fliessenden Wassers ab, indem dieses, je schneller die Bewegung und je steiler das Gefälle, sich auf einen um so engern Kanal zu konzentrieren strebt und sein Bett nach der Tiefe ausfurcht. Es ist auch verschieden von dem Bette des strömenden Eises, welches bei gleichem Gefälle eine grössere Breite hat als dasjenige des Wassers und, vermöge der Tendenz des Eises, die grösstmögliche Breite einzunehmen, die im Relief hervorragenden Stellen in jedem Einzelfalle nur bis zu einer gewissen Höhe in sich begreift.

Wie bei strömendem Wasser und strömendem Eise ist auch bei der strömenden Luft eine hinwegräumende, eine transportierende, eine korradierende und eine ablagernde Thätigkeit zu unterscheiden. Die Wegräumung oder Ablation besteht in der Entfernung gelockerter Massen von ihrer Lagerstätte mittelst der mechanischen Kraft des Windes allein, der Transport in dem Fortschieben oder Forttragen derselben, die Korrasion in dem Abschleifen festen Gesteines mittelst der transportierten Teilchen, die Ablagerung in dem Niederschlage der letzteren an anderen Lagerstätten. Wie bei fliessendem Wasser, vereinigen sich Ablation und Korrasion zur Erosion. Diese Vorgänge sollen hier in einer andern, der Gelegenheit zur Beobachtung besser entsprechenden Reihenfolge erörtert werden.

1. Arten des vom Winde transportierten Materials.

§ 192. Der Wind erfasst die losen Bestandteile am Boden seines Bettes und diejenigen, welche von dort aus durch irgend eine Kraft in die Atmosphäre hinein gestossen oder geschleudert werden.

Salze des Meeres. Wenn der Sturmwind das Meer peitscht und die Kämme sich brechen, erfasst er den Gischt und trägt ihn fort. Es sind Wasserteilchen, welche Salz enthalten. Die meisten fallen bald in das Meer hinab, andere legen weite Wege zurück. Kommen sie über erhitzte Festlands-

flächen, welche die Kapazität der Luft für Wasserdampf erhöhen, so verdunsten sie, und die Salzteilchen allein werden weiter getragen, bis sie allmählich durch Herabsinken oder rascher durch einen Regenguss den Erdboden erreichen. Es ist versucht worden, den Salzgehalt der kontinentalen Centralgebiete dadurch zu erklären. Doch fehlen die Grundlagen, um den Betrag der Rolle, welche hierbei dem Meeressalze jedenfalls in einem, wenn auch noch so minimalen Masse zukommt, zu bestimmen. Es ist bei der Erwägung der Frage in Betracht zu ziehen, dass die von den Meeren kommenden Winde, ehe sie die Centralgebiete erreichen, in den meisten Fällen durch in ihrem Wege stehende Gebirge gezwungen werden, den grössten Teil ihrer Feuchtigkeit in Gestalt heftiger Regengüsse herzugeben, wodurch die etwa vorhandenen Salze niedergeschlagen werden müssen. Untersuchungen über den Gehalt der Luft an löslichen Salzen sind daher ebenso mit Vorsicht auszuführen, als zu Schlussfolgerungen zu benutzen. Von Interesse würde es sein, das wechselnde Verhältnis desselben an einzelnen Küstenorten, sowie die allmähliche Abnahme oder Zunahme nach dem Innern eines Landes hin zu kennen, da die Menge des Salzes für die Lebensbedingungen der organischen Welt, sowie für die hygienischen Zustände von Wichtigkeit sein muss. Vermutlich würde man in regenreichen Gebieten bald die Grenze eines noch erkennbaren Salzgehaltes erreichen, z. B. wenn man sich zur Zeit des sommerlichen Monsuns vom bengalischen Meere gegen den Himalaya oder von der chinesischen Küste gegen die das centrale Asien umwallenden Gebirge hin bewegt; aber mit der Ueberschreitung der letzteren würde sich bei starker Luftströmung wiederum eine nicht unbedeutende Salzführung herausstellen. Man hätte es dann nicht mehr mit den Salzen des Meeres, sondern mit denen zu thun, welche von der Steppe her als Staub aufgewirbelt wurden. Zur Zeit des Wintermonsuns würden aus der gleichen Ursache vielmehr Salze vom Festlande nach dem Oceane getragen werden. Günstiger für einen marinen Ursprung dürfte sich die Frage in denjenigen Fällen gestalten, wo die Seewinde in ein trockenes Kontinentalgebiet hineinwehen, wie es z. B. bei dem Flachlande am untern Indus oder bei den trockenen Westgehängen eines grossen Teils der südamerikanischen Anden der Fall ist. Hier werden die Meeressalze wahrscheinlich weit in das Innere und bis auf grosse Höhen des Gebirges getragen, ehe die letzten von ihnen den Erdboden erreichen.

Die dem Meere entstammenden Salze gehören bestimmten Arten an und werden sich aus diesem Gesichtspunkte von den den Centralgebieten entnommenen unterscheiden lassen. Aehnlich verhält es sich mit denjenigen, welche der Atmosphäre durch thätige Vulkane und Solfataren geliefert werden. Wichtiger als die Salze werden aber die derselben Quelle entstammenden, mit den Dämpfen entweichenden freien Säuren sein.

Zerstäubtes vulkanisches Gestein. Die heftigen Explosionen eruptiven Gesteinsmaterials, welche in einer plötzlichen Verwandlung des in letzterm enthaltenen überhitzten Wassers in Gas ihre Ursache zu haben scheinen, pflegen mit dem Ausschleudern enormer Massen von Bimsstein verbunden zu sein. Die Richtung, in welcher der grösste Teil desselben niederfällt, hat sich von dem in den unteren Luftschichten vorherrschenden Winde abhängig erwiesen. Die am feinsten zerstäubten Teilchen gelangen jedoch in höhere Luftschichten, welche in anderer Richtung strömen und die überaus feinen Bimssteinflocken, wie es scheint, bis in sehr grosse Entfernung tragen können.

Staub im allgemeinen. — „Staub“ ist ein sehr allgemeiner Begriff. Er ist in der weitesten Ausdehnung des letztern das Material, mit welchem die Atmosphäre sedimentbildend operiert. Der Staub kann aus allen Materialien bestehen, welche den lockeren Erdboden in seiner mannigfachen Gestaltung zusammensetzen. Er kann aus fein zerriebenem oder zerkleinertem frischen Gesteine, aus den Zersetzungsprodukten einer bestimmten Felsart oder einer Mengung verschiedener Felsarten, aus humösen und anderen organischen Bestandteilen des Bodens, aus Skeletten von Diatomaceen, kieseligen oder kalkigen Panzern von Mikrozoen, fein zerteiltem Bimssteine, Kieselmehl etc. bestehen. Dass zahllose Sporen niederer Pflanzen daran teilnehmen, ist bekannt. Im ganzen werden individualisierte Staubformen weniger auftreten als solche, wo Bestandteile der mannigfaltigsten Art nebeneinander vorkommen. Je häufiger die Umlagerung der Stoffe gewesen ist und je mehr verschiedenartige Luftströmungen aus der Nähe und Ferne den Staub nach einer Gegend zusammenführen, desto homogener wird sein in einer Mengung der verschiedensten Teile beruhender Bestand sein. Die Masse des Staubes kann so gross sein, dass er tagelang die Atmosphäre erfüllt und bei wolkenlosem Himmel die Sonne unsichtbar macht. Diese Staubatmosphäre

§ 193.

ist in Centralasien bekannt, wo sie sich bei völliger Windstille einstellen kann. In welcher Weise sie dann entsteht, ob die Erhitzung des pflanzenleeren Bodens hinreicht, die Erdteilchen vom Boden zu lösen und der Luft zu überliefern, mit der sie aufsteigen, ist nicht untersucht. Intensiver und über grosse Regionen bis weit über den Ocean sich erstreckend ist die Stauberfüllung der Atmosphäre bei den Staubstürmen, welche eine häufige Erscheinung sind. Es scheint, dass alsdann grosse Staubmassen viele hundert Kilometer weit bewegt werden können.

Eine systematische Untersuchung des Staubes auf mikroskopischem, mineralogischem und chemischem Wege dürfte, sobald Material von verschiedenen Erdgegenden oder solches, das an einer und derselben Stelle in Perioden voneinander abweichender konstanter Windrichtungen gesammelt worden ist, vorliegt, zu vergleichenden Betrachtungen von grosser Tragweite führen können. Dem Reisenden ist vor allem zu empfehlen, Staubniederschläge unter gehörigen Vorsichtsmassregeln und in hinreichender Menge zu sammeln. Es kommt dabei weniger auf die örtlich aufgewirbelten Staubwolken, deren Ursprungsgebiet man kennt, als auf die in grösserer Allgemeinheit in der Atmosphäre verbreiteten und aus ihr niederfallenden Staubmassen an. Am reinsten werden die Proben sein, welche auf offenem Meere gesammelt werden. Sobald dort das Phänomen eines auch nur geringen Staubfalles sich zeigt, sollte man bestrebt sein, eine Probe davon aufzubewahren. Auf dem Festlande kann man bei ruhiger Luft ebenfalls ein ziemlich reines Resultat erwarten; bewegte Luft wirbelt zu viele Bodenteile der Umgebung auf und lässt den kleinen Prozentsatz des aus anderen Gegenden herzugeführten Staubes leicht verschwinden. Anzuempfehlen ist die von v. Lóczy in Centralasien befolgte Methode. Derselbe stellte über dem Dache eines freistehenden Hauses bei eintretendem Regenwetter ein Becken auf. In dem aufgefangenen Regenwasser schlug sich eine Schicht von Bodenbestandteilen nieder, welche der Regen nach verhältnismässig klarem Wetter aus der Atmosphäre herabgeführt hatte.

Die Untersuchung solcher Proben kann, wie Ehrenberg gezeigt hat, zur Feststellung des Ursprungslandes des Staubes führen. Sporen und mikroskopische Tiere oder Pflanzen scheinen dafür am geeignetsten zu sein. Für die allgemeine Meteorologie können dadurch wichtige Ergebnisse gewonnen

werden. Es wurde in dieser Beziehung bereits der heissen Winde gedacht, welche im südlichen Mittelmeergebiete auftreten und deren Ursache nicht bekannt ist (s. § 27).

Schneebedeckung zeigt den niederfallenden Staub am deutlichsten. Nach dem Vorgange Nordenskiölds sollte man ihn auf den Schnee- und Eisfeldern hoher Breiten sammeln, dabei aber die Nachbarschaft kahler, der Wirkung des Spaltenfrostes ausgesetzter Gesteins- und Erdmassen, sowie die quantitative Aenderung der Staubdecke gegen dieselben hin in Betracht ziehen. Auf hoch aufragenden schneebedeckten Gebirgen und auf solchen Schneedecken, welche, wie diejenigen des nordöstlichen Sibirien, durch lange Zeit den Boden bedecken und die näheren Zufuhrstätten von lockern Erdreiche verhüllen, kann der niederfallende Staub nur der Zufuhr aus weiter Ferne zugeschrieben werden. Der kosmische Ursprung, an den man wegen der in solchen Staubfällen aufgefundenen sporadischen Körnchen von metallischem Eisen gedacht hat, ist für diesen Bestandteil selbst noch nicht widerlegt, hat sich aber für die Hauptmasse der gesammelten Proben nicht bestätigt. Den Eisenkörnchen sollte weiterhin Beachtung geschenkt werden.

Von anderen Arten der vom Winde fortbewegten Materialien wird in § 195 die Rede sein.

2. Aeolische Ablation und Korrasion.

§ 194. Der Gestalt des Bettes der Luftströmungen entsprechend, kann die Erosion durch Wind als allgemein auf den Festländern verbreitet bezeichnet werden; sie lässt sich der spülenden Wirkung der Rieselwasser eher als der Grabenerosion des in Rinnen fliessenden Wassers vergleichen. Insofern der Wind durch den Stoss wirkt, ist der Betrag der Erosion eine Funktion seiner Stärke. Der zweite Faktor ist der Widerstand, den die festen Massenteilchen ihm entgegensetzen. Der stärkste Wind kann Kieselsteine von ihrer Lagerstätte nach einer andern fortbewegen. Die schwächste Brise genügt um thonige und organische Staubteilchen nebst Kieselmehl hinwegzunehmen; und, wie erwähnt, vermag die durch Bodenerhitzung bewegte Luft bei völliger Windstille die Atmosphäre mit trockenem Dunste zu erfüllen. Es fehlt in diesen Beziehungen noch an Messungen des Effektes hinsichtlich der Grösse und Menge der Bestandteile, sowie an Untersuchungen der Zusammensetzung des bei verschiedenen Windstärken gehobenen Staubes und Sandes.

Die Ablation durch Wind ist ausgeschlossen bei Bedeckung des Bodens mit dichter Vegetation oder mit Schnee und Eis, ferner bei dem mit Wasser durchtränkten Boden und an glatten Felswänden. Sie kann nur stattfinden, wo der Boden, sei es in grösserer Erstreckung, sei es an einzelnen, wenngleich noch so kleinen Stellen, kahl ist. Eine der Windrichtung entgegengesetzte Neigung des Bodens ist ihr förderlich, weil der Stoss zu voller Geltung kommt ebenso Rauheit und Unebenheit, weil dann dem Stosse viele exponierte Flächen dargeboten werden. Aufs höchste wird sie durch lockere Agglomeration der festen Teilchen begünstigt.

Wo es in allen Jahreszeiten regnet und die Ablation durch Wasser am wirkungsvollsten ist, ist daher derjenigen durch Wind im natürlichen Zustande eines Landes wenig Gelegenheit geboten; sie beschränkt sich auf unfruchtbare Stellen und auf den durch Ueberschwemmungen ausgebreiteten Boden nach seiner Austrocknung. Verwitterung und Frost sind die Agentien, welche die für einen wirkungsvollen Angriff des Windes erforderliche Auflockerung hauptsächlich hervorbringen. Die Verhältnisse ändern sich jedoch erheblich, wenn ein solches Land unter Kultur kommt. Durch das Pflügen wird die Ackerkrume in hohem Grade ablationsfähig, da dem Winde geeignete Angriffsflächen in grosser Menge geboten werden. Von den Strassen entführt er den durch Zerreibung von Boden und Gestein hergerichteten Staub. In grossen Flächen wird das Erdreich Jahr für Jahr umgedreht und zum Teile nach Wiesen, Wäldern und anderen Aeckern hin verweht; wo es eine dünne Schicht bildet, kann diese im Laufe der Zeit ohne Mitwirkung des Wassers ganz verschwinden; wo es mächtig lagert, summiert sich der Effekt am meisten auf Landstrassen, welche durch Windablation tiefer gelegt und zu Hohlwegen umgestaltet werden.

Anders ist es in solchen Erdräumen, wo jährlich durch eine Periode von mehreren Monaten kein Regen fällt, der Rest des Jahres aber feucht ist. Die Steppenvegetation, selbst wenn sie verdorrt ist, beschränkt zwar auch dann die ausräumende Thätigkeit des Windes; aber jede Auflockerung des Bodens, wie sie durch grabende und tiefer eintretende Tiere, besonders die Huftiere, geschieht, setzt sie sofort in Funktion. Treten die Huftiere in Herden auf, wie die Antilopen und die nordamerikanischen Bisons, so kann der Effekt bedeutend sein. Ausserdem finden sich auch im natürlichen Zustande grasfreie

Stellen in grosser Ausdehnung, sei es, dass die Vegetation wegen Salzgehaltes oder anderer Ursachen die nötigen Existenzbedingungen nicht findet, sei es, dass weite Strecken, die in der nassen Jahreszeit sumpfige Marschen bilden, in den trockenen Monaten dürr sind. Am bedeutendsten steigert sich die äolische Ablation in jenen Erdräumen, wo kein Regen fällt oder wo die Niederschläge zu gering sind, um eine dichtere Vegetationsdecke hervorzubringen. Dort ist der Boden in selten unterbrochenem Kampfe mit dem Winde, der ihm jedes feinere gelockerte Teilchen entreisst und durch das Gegeneinanderschleudern der grösseren, wie durch die Korrasion, fortdauernd neue Staubteilchen in grosser Menge selbst erzeugt.

Am ersichtlichsten ist gegenwärtig die Wirkung dort, wo dieselbe Ursache der Zerstäubung dauernd an derselben Stelle thätig ist. Dies ist der Fall bei den Strassen in den durch mehrere Monate des Regens entbehrenden Lössgebieten des nördlichen China. Durch Jahrhunderte und an manchen Stellen wohl durch Jahrtausende sind die Wagen in den gleichen Linien gefahren und haben den mürben Boden gelockert. Infolgedessen hat der Wind Hohlwege ausgeblasen, die bis über hundert Fuss tief eingesenkt sind.

Zu diesen, von allgemeinen klimatischen Zuständen grosser Erdräume und der menschlichen Thätigkeit in ihnen abhängigen Verschiedenheiten des Erosionsbetrages kommen andere, welche in Beziehung zu örtlichen Zuständen stehen. Dahin gehört das Verwehen loser vulkanischer Auswurfsmassen, welche noch keine Pflanzendecke tragen; ferner das Forttragen des Gletscherschlammes. Erstaunlich grosse Massen des letztern werden von den kleinen Gebirgsgletschern der Gegenwart geliefert. Unendlich bedeutendere Massen mussten durch den Rückgang der grossen Vergletscherungen der Vorzeit bei Eintritt eines Klimas mit einer trockenen Jahreszeit freigelegt werden und durch die Wirkung des Spaltenfrostes und Haarfrostes die für die Fortführung durch Wind erforderliche Lockerheit erlangen. Das fein zerriebene Gesteinsmaterial, aus welchem der Gletscherschlamm besteht, ist jedenfalls für die äolische Bewegung ausserordentlich geeignet. — Andere sehr ausgiebige Angriffsgebiete für die äolischen Kräfte sind die ausgetrockneten, wegen ihres Salzgehaltes der Vegetation feindlichen Boden ehemaliger Binnenseen und in noch ausgedehnterm Masse verlassene Meeresboden. In den ersteren ist fein verteiltes thoniges

Material vorherrschend, auf den letzteren herrscht dieses zugleich mit Sand. Beispiele für jene geben die Umgebungen des Lob-noor, für diese die ebenen Flächen der aralokaspischen Niederung.

Es sei hier noch einmal einer bereits früher (§ 48) theoretisch erörterten Klasse von Erdstellen gedacht, welche ausserordentlich grosse Massen von Material zur Fortführung durch den Wind herzugeben im stande sein müssen. Es sind dies die Gegenden regionaler Bodenzersetzung, welche, nachdem durch lange Zeit ein feuchtes Klima geherrscht hatte, unter den Einfluss trockener, die Vegetation vernichtender klimatischer Verhältnisse gelangten. Solche Stellen können Vorratskammern lockerer erdiger Massen sein, welche zu wechselnder Tiefe von der Oberfläche, oft wohl bis zu einer solchen von mehr als 100 m herabreichen können. Hier kann der Wind in der That Berge forttragen. Manche gegenwärtig trockene Stellen der Kontinente dürften sich noch in dem Stadium dieser allmählichen Abräumung befinden. Das Augenmerk ist hierauf besonders zu richten.

Von der äolischen Ablation ist die äolische Korrasion zu unterscheiden, auf welche sich erst seit wenigen Jahren die Aufmerksamkeit lebhafter gerichtet hat. Mittelst derselben höhlt und schleift der Wind den Stein, gerade wie das Wasser, jedoch einerseits in grösserm Umfange als dieses wegen der verschiedenen Gestalt des Bettes, andererseits in geringerer räumlicher Ausdehnung, weil das in grösserm Massstabe stattfindende Windtreiben auf Küsten und trockene Gegenden beschränkt ist. Die Vorgänge sind weiter zu beobachten, da sie zur Gestaltung mancher Erdräume wesentlich beitragen und auf manche Erscheinung aus der geologischen Vorzeit Licht werfen. Der Vorgang besteht darin, dass der Wind die Mineralteilchen, insbesondere runde Körner von Quarzsand und eckige Quarzsplitter, als Projektile gegen das Gestein schleudert. Die Wirkung des Anpralls zeigt sich an Strandküsten und in Wüsten an dem Blindwerden der Fensterglasscheiben, welches zur Erfindung des Sandstrahlgebläses geführt hat. Wie jene, so wird harter Fels angegriffen. Wo horizontal gelagerte Schichten von verschiedener Härte der Gesteine durch einen Bergabhang abgeschnitten werden, geht die Zerstörung der weicheren schneller voran als die der härteren. Die letzteren werden durch Aushöhlung unterwühlt und stürzen in Felsmassen herab, welche

ihrerseits der Korrasion ebenfalls unterliegen, und deren übrig bleibende, abermals unterwühlte Kerne allmählich in ein labiles Gleichgewicht kommen, bis sie herabrollen. Es entstehen dadurch Klippen von mannigfaltiger Gestalt. Am heftigsten ist die Wirkung, wo sich dem Winde eine enge Durchlasspforte bietet. Die Oberfläche von Kalkstein wird häufig durch den treibenden Sand von einem Netzwerke von Furchen durchzogen. Eruptivgesteine erhalten eine unebene Oberfläche, indem die weicheren und spröderen Mineralien schneller unterliegen als die harten und zähen. Quarzkörner ragen heraus, bis sie schliesslich abfallen. Doch kennt man auch Fälle, in welchen parallele oder sich kreuzende Furchen nach Art der Gletscherschrammen in die glatte Oberfläche von Eruptivgesteinen gegraben werden.

Der äolischen Korrasion ist die Glättung der Wüstenkiesel zuzuschreiben. Dieselben bestehen meist aus weissem Quarze, Chalcedon und Achat. Sie können die übriggebliebenen Teile grösserer Gesteinsmassen sein, indem das nachgiebigere kristallinisch körnige oder schieferige Material, welches die vorher unregelmässig gewesenen kieseligen Ausscheidungen umgab, durch die Korrasion entfernt wurde. In anderen Fällen können sie Restbestände von Konglomeraten sein. Auch hier wieder ist die Aufmerksamkeit auf die regionale Verwitterung zu richten. Wo, wie in Brasilien, eckige, unregelmässig oder gangartig in zersetztem Gneise zerstreute Quarzblöcke das Residuum der tiefgreifenden Zersetzung sind, da werden bei Eintritt eines trockenen Klimas die verfaulten Gesteinsmassen durch Erosion und Korrasion schnell fortgeführt werden, die Quarzblöcke durch Sandschliff eine gerundete Form und polierte Oberfläche erhalten und, indem sie einzeln vertikal allmählich in ein tieferes Niveau herabkommen, schliesslich die ganze Oberfläche locker bedecken. Aehnlich dürften sich die neben und übereinander lagernden verkieselten Baumstämme der ägyptischen Wüsten erklären, indem der mürbe thonige Sandstein, in dessen verschiedenen Schichten jene eingeschlossen waren, durch Korrasion entfernt wurde und zur Vermehrung des schleifenden Sandes selbst neues Material hergab. Demselben Vorgange ist die Ansammlung verkieselter Versteinerungen an der Oberfläche in Teilen derselben Wüste zuzuschreiben. Doch ist bei der Beobachtung über die Zerstörung des Gesteines auch den anderen mitwirkenden Agentien, insbesondere dem Zerspringen durch Wärmewechsel (§ 39) Rechnung zu tragen.

Die Zerstörung von Abbrüchen horizontaler Schichtgesteine durch fortschreitende Unterminierung muss schneller von statten gehen als das Abtragen des ebenflächigen Gesteines gegen die Tiefe hin, weil dort der Detritus abfällt, hier hingegen den Boden bedeckt und weil dort dem horizontalen Stosse viel bessere Angriffsflächen geboten werden als in der Schichtungsebene. Es ist daher darauf zu achten, ob nicht die Ausgestaltung der den erodierten trockenen Tafelländern allenthalben eigentümlichen zurückweichenden Staffeln (§ 75) wenigstens grossenteils der Wirkung der äolischen Korrasion zuzuschreiben sind. Es wird dabei auf das die Decke der Ablagerung bildende Gestein ankommen. Ist dasselbe eine basaltische Tafel, wie es in Teilen des Colorado-Tafellandes vorkommt, so wird die Korrasion die herabstürzenden Massen nicht zu bewältigen vermögen. Der Unterhöhlung wird eine Grenze gesetzt sein, und es werden die basaltbedeckten Teile des Tafellandes die Erscheinung der zurückweichenden Staffeln nicht mehr erkennen lassen.

Besondere Erscheinungen sollten dort hervorgerufen werden, wo Gänge oder Kuppen von Eruptivgestein vorhanden sind. Sie sollten als feste minder angegriffene Kerne übrigbleiben und über den Staffelbau hervorragen.

3. Umlagerung und Aufbereitung.

§ 195. Ueberall wo in lockeren mineralischen Anhäufungen die Teilchen verschiedene Grösse haben, vermag der Wind von einer bestimmten Stärke (gleiches spezifisches Gewicht der Teilchen vorausgesetzt) nur solche bis zu einer bestimmten Grösse vollständig zu entführen; die nächst grösseren kann er noch fortrollen; was noch grösser ist, bleibt liegen. Ein konstanter Luftstrom würde daher, ebenso wie ein aus dem Gebirge in die Ebene tretender Fluss (§ 83), die ihm zugänglichen Teile des Agglomerates in einen Dejektionskegel verwandeln, dessen einzelne Zonen in der Richtung des Windes eine stetig abnehmende Grösse der Bestandteile zeigen würden. Von der innersten Zone an würde jede nach aussen folgende eine wachsende Breite (in der Richtung vom Scheitel hinweg) haben und das Ende der letzten aus feinem Staube gebildeten würde beinahe in unendlicher Ferne liegen. Jede Zone würde bei konstanter Fortdauer des Windes sich nach aussen fortschieben, die inneren weniger, die äusseren mehr.

Dies ist das Gesetz der Seigerung oder Aufbereitung lockerer Massen durch den Wind. Wechsel in der Windstärke und Windrichtung werden, ebenso wie die Reliefformen der Oberfläche, vielfache Modifikationen hervorbringen, von denen aber jede von demselben Gesetze beherrscht sein wird. Das letztere ist von Wichtigkeit bei dem Studium von Wüsten und Steppen, lässt sich aber auch bei Sand- und Kiesgruben und auf Sturzäckern beobachten. Der feste Fels, die grossen Blöcke und die runden Wüstenkiesel sind das Zurückbleibende, die Scheitel der einzelnen Schuttkegel. Sie bilden die Felswüste und die Kieswüste. Der ganze Rest, welcher die beweglichen Teile umfasst, teilt sich im wesentlichen in zwei Zonen, diejenige des Sandes und diejenige des Staubes.

Der Sand wird von den groben Stücken ausgesondert, wandert und häuft sich vor dem Winde an, indem gleichartiges Korn sich zusammengesellt. In allen Wüstengebieten nehmen die Sandflächen grosse Räume ein. Aber sie haben verschiedenen Charakter, deren extremste Formen als diejenigen der Flugsandwüste und der Dünenwüste zu bezeichnen sein dürften. Heftiger Wind bringt zwar bei allen Formen ein intensives Sandtreiben hervor; aber es giebt solche, bei denen über weite Flächen der Sand eine dünne, unregelmässige, fortdauernder Verschiebung ausgesetzte Decke über festem, lehmigem oder felsigem Boden bildet, wo also der Flugsand allein charakteristisch ist. Andere Formen zeigen eine Verteilung des Sandes in leichten niedrigen Wellen, noch andere eine Anhäufung desselben in Gestalt langer paralleler Züge von Sanddünen, welche Höhen von 100—150 m erreichen und einer langsamen Wanderung unterliegen. Die Dünen der Meeresküsten wurden an einer andern Stelle (§ 159) besprochen. Hier kommen diejenigen des Binnenlandes in Betracht. Es ist noch nicht bekannt, welche Einflüsse der verschiedenen Art der Anhäufung des Sandes zu Grunde liegen. Hypothetisch lassen sich als solche bezeichnen: die Grösse der Sandkörner, die Gestalt derselben, die Formen der Oberfläche des Untergrundes und die Richtung der vorherrschenden Winde.

Die Entstehung des Quarzsandes ist an sich ein Problem von hohem Interesse, weil derselbe eine eigentümliche und wichtige Rolle an der Erdoberfläche hat. Der Vorgang begann mit der ersten Sonderung von Land und Meer; denn als die eigentliche Werkstatt, wo der Sand bereitet wird,

ist der der Brandungswirkung ausgesetzte Meeresstrand (§ 154) zu betrachten. Der Quarz der Eruptivgesteine, Granite und kristallinischen Schiefer, sowie der die letzteren in grosser Zahl durchsetzenden Sekretionsgänge hat wahrscheinlich das ursprüngliche Material hergegeben. Auf dem Strande wurde er herauspräpariert und zertrümmert, wie es noch fortdauernd an Felsküsten, welche aus diesen Gesteinen bestehen, geschieht. Sind dann die Fragmente durch lange fortgesetztes Schleudern, Schleifen, Rollen und Reiben zu rundlichen Körnern von einer gewissen Grösse reduziert, so werden sie dem fernern Einflusse der Brandungswelle entzogen. Sie häufen sich am Boden der Litoralzone des Meeres an, weil die Welle nur diejenigen Teile, welche eine gewisse Grösse übersteigen, stets wieder am Strande hinauf zum Zwecke weiterer Bearbeitung zu transportieren strebt. Bei gleichmässiger und ungestörter Aufbereitung werden daher die Quarzkörner des im Meere abgelagerten Sandes eine gewisse (vielleicht nach der Stärke der Brandung verschiedene) Maximalgrösse nicht übersteigen, aber zum Teile viel geringere Grösse haben können. Ein anderer Teil des Sandes wird an die Dünen abgegeben. Hier sollte eine Minimalgrenze für die Grösse der sich zusammenhäufenden Körner vorhanden sein, weil das Feinere vom Winde über die Düne hinaustransportiert wird.

Bei der wiederholten Zerstörung des grössten Teiles der ältesten, sowie der später gebildeten Sandsteine scheint wesentlich eine Umlagerung der Sandkörner und eine Zusammenhäufung zu neuen Sandgesteinen stattgefunden zu haben. Die Gesamtmasse des Quarzsandes muss daher im Laufe der Geschichte der Erde stetig zugenommen haben.

Der Sand der Wüsten kann von den Dünen eines im Rückzuge begriffenen Meeres (§ 168) und den Anhäufungen am Boden der Küstenzone des letztern (§ 189) stammen, wie in den Umgebungen des Kaspischen Meeres, im pannonischen Becken und teilweise im Tarymbecken Centralasiens. Er kann aber auch der Zerstörung der Sandsteine entnommen sein, wie es von Zittel für die Sande der östlichen Sahara erwiesen worden ist. Es scheint nicht, dass die äolischen Kräfte hinreichend sind, um aus Quarzfragmenten neuen, aus gerundeten Quarzkörnern bestehenden Sand in bedeutender Menge zu bilden. Die Winde operieren wesentlich mit dem gegebenen Materiale, machen neues frei durch Korrasion und übernehmen, das welches

in anderer Weise gelockert wurde. Bei dem Treiben des Sandes werden verschiedene Umgestaltungen vor sich gehen. Zunächst werden alle Körner, welche aus weniger harten Mineralien bestehen, so zertrümmert werden, dass sie in Gestalt von Staub nach grösseren Fernen wandern. Die Feldspate und Glimmerarten, Hornblende und Augit, müssen, wo sie Bestandteile des Wüstensandes bilden, diesem Schicksale ebenso unterliegen, wie die thonigen Bindemittel der Sandsteine und alle thonigen Substanzen überhaupt. Durch die gegenseitige Reibung der Quarzkörner muss Kieselmehl entstehen, welches von den Winden leicht entführt wird. So geschieht es, dass der Wüstensand schliesslich nur aus Quarzkörnern besteht, deren Maximalgrösse wahrscheinlich durch die einstmalige Aufbereitung auf dem Meeresstrande vorbestimmt wurde, während die Minimalgrösse von der Kraft des Windes abhängt. Zittel fand in der Libyschen Wüste die Grenzdurchmesser 0,50 und 2 mm. Solche Messungen sollten vielfach angestellt werden.

Das Treiben des Sandes scheint am stärksten dort zu sein, wo der Wind am freiesten über die Flächen streicht und der Sand wellige Formen annimmt, ohne sich zu Dünen aufzutürmen. Es ist häufig mit einem lauten Tönen und Singen verbunden, über welches weitere Beobachtungen erwünscht sind. Auch wäre es von Interesse, festzusetzen, ob nicht bei dem Anpralle der Quarzkörner aneinander oder an harte Felsen oft ein Zerspringen stattfindet, welches durch die Einwirkung von Hitze und Kälte vorbereitet werden könnte. Unregelmässige Quarzsplitter würden dem freien Falle grössern Widerstand entgegensetzen als gerundete und sollten daher von stark bewegter Luft viel weiter getragen werden können. Da der Löss in den centralen Teilen grosser Becken scharfeckige und kantige und nur in Randgebieten auch gerundete Quarzkörner enthält, so muss dies auf einer grössern äolischen Transportfähigkeit der ersteren beruhen. Ihr Ursprung könnte jedoch auch in der Zertrümmerung anstehenden Quarzes durch Korrasion, in der Absprengung von Splittern durch Frost und in der Gesteinszermalmung durch Gletscher zu suchen sein. In diesen Fällen sollten sie in Wüsten, wo die genannten Bedingungen vorhanden sind, nicht fehlen und, da das Gleichartige sich gern zusammengesellt, an gewissen Stellen vorwalten.

Ob die Anhäufung des Sandes zu Dünen mit einem Wechsel im Bodenrelief zusammenhängt, ist nicht bekannt.

Doch hat ein solches Verhältnis einige Wahrscheinlichkeit. Grosse Dünen bilden sich an den Stellen des sehr bemerkenswerten Wechsels vom Strande zum Lande. Kleine entstehen bei jedem Hindernisse, das sich dem Sandtreiben entgegenstellt. Ein Strauch genügt, um eine ganze Sandanhäufung hervorzubringen, die sich an der Leeseite bildet und allmählich zu bedeutender Höhe auftürmen kann. Sie lenkt den Wind nach beiden Seiten unter gewissen Winkeln ab und bildet den Scheitelpunkt von zwei divergierenden Sandwällen. Es ist dies der in Fig. 81 dargestellte Typus der von v. Middendorff beschriebenen Barkhane, die sich besonders auf den Kies- und Salzwüsten des aralokaspischen Beckens bilden und auch in Argentinien bekannt sind. Stände an Stelle des Strauches ungefähr rechtwinklig zur Windrichtung eine sich lang hinziehende niedere Bodenterrasse, so würde die Sandanhäufung ihr entlang stattfinden. Es könnte sich an solcher Stelle eine hohe und permanente Düne bilden, welche, gerade wie bei der Küstenumsäumung, das Entstehen paralleler Dünenreihen auf der Leeseite zur Folge haben würde.

Fig. 81.

Diese Vorgänge sollten zunächst im kleinen sorgfältig beobachtet werden; die Ergebnisse werden sich vermutlich auf die grösseren Phänomene übertragen lassen. Es ist auch dabei der Anteil zu beachten, welchen die Winde der einzelnen Jahreszeiten auf die Gestalt der Dünen im ganzen und auf kleine Modifikationen derselben haben. Die Luftströmungen der trockenen Jahreszeiten werden in höherm Masse bestimmend sein als diejenigen der Monate, in welchen Regen oder Schnee die Dünen verfestigt.

Neben der Gestalt ist das Wandern der Dünen zu beobachten, welches oft verhängnisvoll für Kulturgebiete sein kann, wie z. B. im Tarymbecken. Nach übereinstimmenden Berichten scheinen hohe Dünen langsam zu wandern. Man beobachtet in der Regel eine allmählich ansteigende konvexe Seite, welche auf der Höhe in einem sehr scharf geschnittenen Rande endigt. Dies ist die Windseite. Auf der andern ist erst ein steiler Absturz, der bei den Barkhanen 60^0 beträgt, bei den Dünen der Libyschen Wüste fast vertikal sein und eine Höhe von 2—3 m haben soll; daran schliesst sich ein mit ungefähr 30^0 Neigung beginnender konkaver Abfall. Er

setzt bis zu dem Boden der Kehle fort, aus welcher nach einer Verebnung und mit einer geringen Konkavität beginnend die nächste konvexe Stossseite aufsteigt. Fig. 82 stellt den Quer-

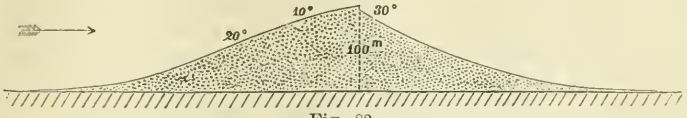

Fig. 82.

schnitt einer Düne der Libyschen Wüste nach Zittel dar. Das Wandern geschieht in der Richtung des Windes, indem der Sand über die Kante hinweggeweht wird und diese selbst mancher Aenderung in Höhe und Lage unterliegt.

4. Ablagerung des Staubes.

§ 196. Gänzlich verschieden von der allmählichen Fortbewegung der Dünen und dem Fortschieben grosser Sandmassen durch das niemals weit über die Oberfläche sich erhebende Treiben ist das Schicksal der feinen Bestandteile, welche, einmal in die Atmosphäre erhoben, lange in ihr schwebend erhalten und mit ihr fortgetragen werden, bis sie, oft in grosser Ferne, entweder durch ihr eigenes Gewicht oder durch Regengüsse niedergeschlagen, den Erdboden wieder erreichen. Wie sie sich im Meere teils mit dem Sande, teils in weiter Entfernung über ihn hinaus ablagern (s. S. 411), so ist es auch auf dem Lande der Fall. Auf dem ganzen Wege des Windes wird der Staub über die Oberfläche verteilt. Ein Teil fällt in das Meer (s. S. 414). Was sich auf regenreichen Bergabhängen absetzt, wird grossenteils wieder abgespült. Was auf vegetationslosen, trockenen Boden gelangt, wird von dem nächsten Winde wieder aufgewirbelt, sofern es nicht einen geschützten Raum zwischen Felsblöcken oder Wüstenkieseln findet. Manches kommt in abflusslose Seen und wird deren Sedimenten einverleibt; auch was auf feuchten, schlammigen Boden gerät, bleibt haften. Die eigentlichen Ansammlungsgebiete des äolischen Staubes aber sind ebene oder flachgeneigte, mit Vegetation bedeckte Erdräume. Der Vorgang des Ansammelns lässt sich allenthalben beobachten. In Gegenden, die von den Erzeugungsgebieten der grossen, umgestaltend wirkenden Staubmassen weit entfernt sind, haftet auf kahlem Gemäuer, selbst auf den Zinnen von Kirchtürmen, der Staub an Flechten und schafft durch seine

Anhäufung bald ein Polster für Moose, Gräser und Kräuter und schliesslich für Sträucher und Bäume. Höher sammelt er sich an, wo von Ruinen umschlossene Räume ihm bessern Schutz gewähren. Wo ausgedehnte Reste von Bauwerken auf Anhöhen liegen und eine Zufuhr von Boden durch irgend ein anderes Agens ausgeschlossen ist, vermag der durch die Atmosphäre herzugetragene Staub im Laufe der Zeit eine mit dichter Vegetation bedeckte Bodenschicht zu schaffen. Von mächtigeren äolischen Schuttmassen als solche Stätten in Mitteleuropa sind die Ruinen der grossen Städte des Altertums im Thale des Euphrat und Tigris überdeckt.

Solche Fälle können dazu dienen, die Wirkungsweise des Windes in der Anhäufung von Bodenbestandteilen offenkundig zu machen. Sehr viel bedeutender, aber nicht so unmittelbar der Beobachtung zugänglich sind die Niederschläge, welche in den vegetationsbedeckten Strecken Centralasiens und seiner Umgebungen niederfallen. Vor allem sind es die mit Gräsern bewachsenen, den kahlen Wüstenländern zunächst gelegenen Steppen, welche ihn aus erster Hand empfangen und festhalten. Wenn bei und nach einem Staubsturme eine messbare Schicht feiner erdiger Bestandteile dort niederfällt, so findet sie Schutz unter dem Grase, und der nächste Regen befestigt sie an den Boden, der dadurch in seiner ganzen Ausdehnung eine Erhöhung um einen geringen Betrag erfährt. In dem Masse als dieser Zuwachs sich im Laufe der Jahre zu grösserer Mächtigkeit summiert, wachsen die Pflanzen in höherm Niveau. Um denselben Betrag rückt die Grenze aufwärts, bis zu welcher die tiefsten Wurzeln hinabreichen. Im Laufe der Jahrhunderte kann dieses Anwachsen des Bodens einen namhaften Betrag erreichen, im Verlaufe von Zehntausenden von Jahren werden grosse Erdräume eine völlige Umgestaltung erleiden müssen.

Diese Niederschläge wirken im allgemeinen ausebnend. Ist die ursprüngliche Bodenfläche von Unebenheiten erfüllt, z. B. von kahl aufragenden felsigen Erhöhungen unterbrochen, so wächst der Boden in den Vertiefungen fort, bis diese das Niveau der früheren Erhöhungen erreichen und sich über dieselben hinweg miteinander verbinden. Mehr und mehr nimmt die Gleichmässigkeit der Flächenausbreitung zu; alle Unregelmässigkeiten der vormaligen Oberfläche werden in der Tiefe vergraben.

Andere Agentien unterstützen die Tendenz des Nivellierens. Die aufragenden Felsmassen und Gebirge unterliegen der Zerstörung durch Verwitterung, Spaltenfrost und Wärmewechsel.

Die Spülwasser der Regenzeit führen die Trümmer an den Gehängen hinab und schaffen konkave Schutthalden, in denen die Grösse der Bestandteile von oben nach unten, von der Bergseite nach der Verebnung hin allmählich abnimmt. Dadurch entstehen die Formen flacher Mulden und Becken, die durch mehr und mehr sich abrundende, in ihren eigenen Schutt sich hüllende Höhenzüge aus Gestein getrennt werden. Tritt periodisch ein stärkerer Regenguss ein, so werden grosse Massen des Gehängeschuttes über die den Muldengehängen zunächst gelegenen Teile der Steppenfläche ausgebreitet, die dann wieder ruhig zu höherm Niveau wächst, bis eine abermalige Ueberführung mit Schutt eintritt. Aber in grösseren Becken und Mulden erreicht derselbe niemals die centralen Teile. In diesen herrscht die Verebnung mit äolisch gebildetem, sehr feinerdigem Boden. Je mehr man sich den Einfassungen nähert, desto mehr stellen sich gröbere Bestandteile ein, bis man den groben Gehängeschutt erreicht, der aber auch seinerseits von äolischen Aufschüttungsmassen erfüllt wird. Je grösser die Muldenflächen werden, desto vollkommener bieten sie das Ebenbild der kontinentalen und pelagischen Ablagerungen in Meeresbecken (§ 188) in kleinem Massstabe dar.

Solche Steppengebiete haben eigentümliche Stromverhältnisse. Einige, wie die Schwarzerde-Distrikte im südlichen Russland, werden von grossen Flüssen durchzogen, die sich tief in das den äolischen Boden unterlagernde Gestein eingegraben haben. Dieselben durchziehen die Steppen, ohne von ihnen selbst nennenswerten Zufluss zu erhalten. In anderen, wie in den Prairiegebieten zwischen Felsengebirgen und Missouri, erreichen die den Gebirgen entströmenden Flüsse nur stellenweise die Unterlage und nehmen ihren Lauf in den Steppengebilden selbst. Sie geben ihrer Umgebung Feuchtigkeit ab und verlieren Wasser durch Verdunstung, aber erhalten ebenfalls kaum Zufluss von der Steppe selbst; so ist es auch in den Llanos der Fall. Wieder in anderen Steppengebieten erreicht kein Fluss das Meer; die Gewässer der umgebenden Gebirge versiegen grösstenteils im Steppenboden. Zum Teile sammeln sich die einzelnen Wasseradern zu einem grössern Flusse, aber wo derselbe allmählich an Wassermenge verlierend den tiefsten Teil der Mulde erreicht, mündet er in einen Salzsee ohne Abfluss. Durchströmt er vorher Seebecken, so sind diese nicht salzig.

Mit dem erdigen Staube werden durch den Wind lösliche Salze transportiert. Auch sie fallen nieder und erfüllen den neugebildeten Boden. An den Rändern der Mulden werden sie durch Regen gelöst und teils durch das Grundwasser, teils durch in Kanälen fliessendes Wasser den tieferen Teilen zugetragen. Daher konzentrieren sie sich am meisten in den Seebecken der tiefsten Teile der einzelnen Mulden und Becken, von da gegen die Ränder hin nimmt ihre Menge allmählich ab, aber sie fehlen keinem Teile. Auch dort, wo die Verebnung eine vollständige ist und Flüsse in tiefgeschnittenen Kanälen dem Meere zueilen, können die Salze nur unvollkommen ausgelaugt werden. Im einzelnen Falle ist zu untersuchen, welchen andern Ursprung dieselben haben können. Wo höhere Gebirge die Steppe überragen, da werden Verwitterungssalze unmittelbar in Lösung nach den tieferen Strecken geführt. Denselben Weg nehmen die löslichen, aus dem Bestande von Schichtgesteinen entnommenen, vielleicht sogar aus Salzlagerstätten stammenden Stoffe. Auch kann der Untergrund, auf welchem der Steppenboden ruht, ein alter Meeresboden sein und, falls er ein umschlossenes Restbecken von Meereswasser war, einen sehr beträchtlichen Salzgehalt haben, der sich auf dem Wege der Diffusion auch an der Oberfläche manifestiert. Es ist daher auf die Art der Salze zu achten. Dieselben sind nicht nur dort zu sammeln und zu untersuchen, wo sie konzentriert vorhanden sind, sondern auch wo sie dem Auge nicht erkennbar den Boden erfüllen und, wie es in Steppen allgemein der Fall ist, dem Brunnenwasser einen besondern Geschmack geben.

Eines der wichtigsten Momente im Haushalte der Natur ist die Fruchtbarkeit des äolischen Bodens. Letzterer besteht aus den zusammengewehten Bestandteilen aller Felsarten, und zwar werden diese zum Teile im Zustande vollständiger Verwitterung, zum Teile, wie in dem dem Gletscherschlamme und der Korrasion entnommenen Staube, in frischem Zustande geliefert. Thon, zerriebener Feldspat, Kalksteinstaub, Kieselmehl und feine Quarzsplitter, Glimmerblättchen, Salze, organische Substanzen — das sind die wesentlichsten Bestandteile. In ihrer Mengung enthalten sie alle Elemente fruchtbaren Bodens. Zu dem feinen Korne gesellt sich die Lockerheit des Gefüges, welches durch die Pflanzenwurzeln bedingt wird. Ungünstig aber wirken die löslichen Salze, wenn ihre Menge ein gewisses Mass übersteigt. Werden sie auf künstlichem oder natürlichem

Wege ausgelaugt, so ist die Fruchtbarkeit hergestellt. Im natürlichen Zustande sind die grossen Flächenablagerungen von äolischem Staube weitaus vorwaltend mit Steppenvegetation, also in erster Linie locker stehenden Gräsern, bekleidet; nur an Flussufern finden Bäume günstige Bedingungen, weil dort permanente Feuchtigkeit vorhanden ist und die Salze ausgelaugt werden. Der Mensch schafft sich durch Anwendung desselben Mittels Oasen, indem er die vom Gebirge herabkommenden Gewässer über den Boden verteilt. Dieser erweist sich als ungemein ergiebig für Cerealien und gestattet bei sorgfältiger Pflege die Anpflanzung von Bäumen; aber letztere gehen zu Grunde, wenn die Berieselung aufhört. Derartige Vegetationsbedingungen sind im einzelnen zu untersuchen. Die Bewohner des centralen Asiens und des nördlichen China begrüssen die Staubstürme als fruchtbringend; die Erdschicht, mit der die Felder überdeckt werden, wirkt wie ein Düngungsmittel.

Die nordafrikanischen Oasen sollten ebenfalls Sammelplätze fruchtbringenden und düngenden, äolisch herzugeführten Staubes sein. Sie sind umgeben von Stätten der Ablation und Korrasion durch Wind und bieten durch Feuchtigkeit und Vegetation die Bedingungen für das Festhalten und die Anhäufung des Staubes. Es giebt dort natürliche Oasen, welche in Vertiefungen liegen, zu denen das Grundwasser Zutritt hat, und es giebt künstliche, welche durch artesische Brunnen (§ 53) bewässert werden. Beiderlei kulturfähige Stätten sollten infolge sorgfältigen Anbaues bevorzugte Ablagerungsorte des Staubes sein und könnten dadurch im Laufe langer Zeiten eine geringe Vergrösserung erfahren.

Es ergeben sich aus den vorstehenden Erörterungen eine Menge von Gesichtspunkten, unter denen die durch die atmosphärischen Strömungen verursachten Ablagerungen betrachtet werden können. Andere werden im Einzelfalle hinzutreten und sollen zum Teile noch in einem andern Abschnitte (§ 215) Berücksichtigung finden.

Es kommt hier vor allem darauf an, die Einzelerscheinung in ihrem Zusammenhange mit der Gesamtheit der für den betreffenden Erdraum charakteristischen Erscheinungen zu untersuchen. Man kann die äolischen Ablagerungen auf jeder Wiese, auf jedem alten Gemäuer und an vielen anderen vor der Wirkung des fliessenden Wassers geschützten Orten erkennen und studieren. Wo das Phänomen sich im grossen zeigt,

sind die meteorologischen Verhältnisse in Betracht zu ziehen, vor allem die vorherrschenden Windrichtungen und die Verteilung der Regenzeiten, sodann die Formen des Bodens und der Charakter der umliegenden Gebiete, besonders derjenigen, welche den Staub zu liefern im stande sind. In einer Gegend mit schroffem Formenwechsel wird man beobachten, wie der Staub sich an geschützten Stellen in grosser Mächtigkeit abgelagert hat, dagegen an anderen, welche der fegenden Kraft des Windes ausgesetzt sind, gänzlich fehlt, und wie diese Erscheinung eine vollkommen gesetzmässige Verteilung der Unregelmässigkeiten verursachen kann, während in völlig ebenen Gebieten auch eine ganz gleichmässige Verteilung der Niederschläge stattfindet. Auch über den Betrag, um welchen der Boden in einem gewissen Zeitraume, z. B. einem Jahrhunderte, wächst, sollte man Aufschluss zu gewinnen suchen. Dies wird dort möglich sein, wo Altertümer, welche unter äolischen Aufschüttungen verborgen liegen, sich auf ein bestimmtes Zeitalter zurückführen lassen.

Dritte Abteilung.

Beobachtungen über Erdboden, Gesteine und Gebirgsbau.

Die Oberfläche des festen Landes besteht einerseits aus einem Felsbaue von mehr oder weniger festen Gesteinen, andererseits aus losen Anhäufungen von Schutt und erdigen Massen, welche sich über die meisten Teile des Felsbaues ausbreiten und Vertiefungen in ihm ausfüllen. Das feste Gestein ist teils unzersetzt oder doch nur an seiner äussern Fläche schwach verändert, teils mit einer lockern, aus seiner eigenen Umwandlung hervorgegangenen Verwitterungsrinde bekleidet, welche grosse Mächtigkeit erreichen kann. Diese Art von Bekleidung, welche als autogen zum Unterschiede gegen die von auswärts herzugetragene Decke allogener Gebilde bezeichnet werden kann, lässt sich von zweierlei Gesichtspunkten betrachten; denn einerseits bildet sie einen Teil des Felsbaues, insofern sie aus dessen Gestein, wiewohl in einem veränderten, gewissermassen pathologischen Zustande, besteht, andererseits gehört sie zu den lockeren Deckgebilden, insofern sie in derselben Weise wie die herzugetragenen losen Massen das feste Gestein verhüllt und die Pflanzendecke trägt. § 197.

Geologische Aufschlüsse. Alles Erdreich und Gestein gehört zu den Gegenständen geologischer Untersuchung. Ein Aufschluss ist daher an jeder nicht von Wasser oder Eis oder dicht überwuchernder Pflanzenbekleidung bedeckten Stelle gegeben. In den grossen Tiefländern der Erde und in den Becken der centralen Gebiete giebt es weite Strecken, wo diese Aufschlüsse sich auf allogene Deckgebilde beschränken. Für die grössten Teile des norddeutschen Flachlandes muss man sich zum Beispiele damit begnügen, auf geologischen Karten die verschiedenen Arten und Altersstufen des Gletscherschuttes, des glacialen und postglacialen Schwemmlandes und des äolisch gebildeten, allerdings nur in dünner Decke auftretenden Bodens voneinander abzusondern. Ein weitergehendes Ziel der Forschung aber ist

die Kenntnis des in verhältnismässig geringer Ausdehnung völlig zu Tage anstehenden Felsbaues. Nur die beinahe vegetationslosen Gebirge der Wüste lassen an jedem zu einiger Höhe aufragenden und nicht allzu flachen Gehänge alle Gesteine, aus denen sie bestehen, selbst aus der Ferne klar und scharf erkennen. In der grossen Mehrzahl der Fälle stellt man sich die Aufgabe, das Gestein unter den lockeren Deckgebilden, welche sich dem Blicke zunächst darbieten, aufzusuchen, beides voneinander zu trennen und aus den Gesteinen ein Verständnis desjenigen Felsbaues zu gewinnen, welcher die Oberfläche ohne das Vorhandensein der Deckgebilde allein bestimmen würde. Wo diese bis zu grösserer Tiefe überwiegen, ist es um so wichtiger, die einzelnen Stellen zu finden, an denen jener an die Oberfläche tritt. Gewöhnlich hat man es mit einer Bekleidung zu thun, welche entweder den Felsbau nur streckenweise verhüllt oder an vielen Stellen zerrissen und durchschnitten ist. Diese ursprünglich unverhüllten oder durch besondere Umstände ihrer Hülle entkleideten Stellen sind die Orte der geologischen Aufschlüsse, welche man besonders aufzusuchen hat. Ein Graben, eine tief eingefurchte Strasse, ein Eisenbahneinschnitt, ein Steinbruch, die Wände eines Stromkanals, die Runsen und Tobel in Gebirgen, die Felswände und Felsgrate, die einzeln aus Thälern und Flachboden aufragenden Gesteinskuppen, die Steilküste des Meeres — dies sind Stellen, welche über den Felsbau und das Verhältnis der Deckgebilde zu ihm Aufschluss geben können. Derselbe ist um so vollkommener, in je grösserer horizontaler oder vertikaler Entwicklung das Gestein blossgelegt ist oder sich auf dem Wege der Schlussfolgerung feststellen lässt. Die letztere gründet sich auf die Auffindung möglichst vieler und möglichst nahe aneinander gelegener Aufschlussstellen, welche gestatten, die Verbindung der Grenzen der einzeln gefundenen Gesteinsarten oder Formationsglieder unter den Deckgebilden hinweg zu verfolgen und auf Karten einzutragen. Bei der Wahl des Reiseweges muss nicht nur dieses Ziel erstrebt werden, es soll auch der Gesteinsverband, die Tektonik des Grundbaues erkannt werden. Man würde diese unmittelbar zu beobachten im stande sein, wenn man an mehreren Stellen senkrechte Schnitte quer durch eine ganze Gebirgsmasse legen könnte. Da dies nicht möglich ist, muss man diejenigen Stellen aufsuchen, wo durch natürliche Einschnitte das dargestellte Ideal am vollkommensten erreicht

wird. Einige hierauf bezügliche Winke sind in § 8 gegeben worden.

Zuweilen sind die Aufschlüsse von ermüdender Gleichförmigkeit, indem sie in steter Wiederholung dasselbe Ergebnis liefern. Aber aufmerksame Beobachtung lehrt in solchen Fällen die kleinsten Unterschiede beachten, und man kann jeder Gegend ein Interesse abgewinnen und oft gerade von der einförmigsten die am weitesten anwendbaren Schlussfolgerungen erlangen. Wo es an Aufschlusspunkten fehlt, z. B. wenn man in einem flachen Thalboden einem Gebirge entlang reist, gilt es, die Anhaltspunkte aus verschiedenen Erscheinungen, von denen einige in § 11 angedeutet worden sind, zu sammeln. Der Reisende muss streben, hierfür seinen Blick zu schärfen.

Im folgenden sind die lockeren Deckgebilde von den Gesteinen des Grundbaues getrennt behandelt. Es schliessen sich daran die Beobachtungen über den innern und äussern Bau der Gebirge.

Zwölftes Kapitel.

Beobachtungen über den lockern Erdboden.

§ 198. Die aus der Zersetzung des unterlagernden Gesteines hervorgehenden oder aus der Ferne herzugetragenen lockeren Deckgebilde, welche sich fast überall dem beobachtenden Blicke zuerst darbieten, sind von grossem Interesse und hoher Bedeutung. Die Existenz der gesamten organischen Welt ist an sie unmittelbar geknüpft, und in der Art ihrer Entstehung spiegelt sich die Geschichte der äusseren Einflüsse, welchen jede Erdstelle innerhalb der letzten Epochen unterworfen gewesen ist. Meist ist ihnen nur nebensächlich Aufmerksamkeit gewidmet worden, da der Felsbau diese in höherm Masse auf sich zog. Erst in neuester Zeit hat sie sich ihnen mehr zugewendet, aber doch noch immer in zu geringem Grade. Der Reisende, welcher nacheinander verschiedene Gegenden durchzieht, hat Gelegenheit, vielerlei Bodenarten zu beobachten. Er sollte sich daran gewöhnen, sie nicht einfach ihrem Charakter nach zu registrieren, sondern sie als das Resultat von klimatischen Zuständen und von Bildungsvorgängen aufzufassen, zugleich aber ihre Wirkung auf die jetzige organische Welt und durch diese auf die Existenz und die Kulturbedingungen des Menschen zu prüfen. Er wird dann ihrem Studium sehr anziehende Seiten abgewinnen.

Wir betrachten hier zuerst die Faktoren der Bodenbildung, wobei wir manche frühere Ausführung rekapitulieren, dann die wichtigsten der regional verbreiteten Bodenarten, ferner die Modifikationen, welche die letzteren unter verschiedenen Bedingungen erleiden, und die Schlüsse, welche sich aus der Uebereinanderlagerung verschiedener Bodenarten ziehen lassen.

A. Faktoren der Bodenbildung.

Aller lockere Erdboden ist aus der Zerstörung von festem Gesteine hervorgegangen. Aber sehr verschieden ist der Grad, in welchem bei der Entstehung der einzelnen an der Zusammensetzung der Oberfläche teilnehmenden Arten desselben verschiedene Agentien mitgewirkt haben, und unendlich verschieden die Zeitdauer, während welcher diese thätig gewesen sein können. Man kann diejenigen Agentien, welche den Boden in erster Linie (primär) aus dem festen Gesteine produzieren, ohne ihn von seiner Lagerungsstelle zu entfernen, als eine Klasse zusammenfassen. Einer zweiten gehören diejenigen an, deren Thätigkeit wesentlich darin besteht, die gelockerten Teile nach anderen Stellen zu transportieren, sie aufzubereiten und anzusammeln. Als eine dritte Kategorie lassen sich diejenigen Vorgänge zusammenfassen, bei welchen die losgelösten Bestandteile des Gesteines unmittelbar den Agentien der zweiten Klasse überliefert werden.

a. Primäre Bodenbildner.

Hierzu gehören:

1) Der Frost. Inwieweit der Spaltenfrost die Absplitterung des Gesteines und die Entstehung von lockeren Schuttmassen, der Haarfrost hingegen die Lockerung des Bodens verursacht, ist in § 41 dargestellt worden. § 199.

2) Die Verwitterung der Gesteine mittelst Feuchtigkeit, Wärme und vegetativer Prozesse. Dies ist ein wichtiger und weit verbreiteter Vorgang. Wo Feuchtigkeit oder dauernd hohe Wärme oder beides fehlt, ist er sehr gering und wird durch die Thätigkeit des Frostes und der Temperaturwechsel ersetzt. Solange die Verwitterungsprodukte sich auf primärer Lagerstätte befinden, unterscheiden sie sich je nach dem Gesteine, durch dessen Umwandlung sie entstanden. Die einschlägigen Vorgänge sind in § 42 ff. erörtert worden.

3) Des Einflusses der Auflösung des Gesteines auf die Bodenbildung ist ebenfalls schon (§ 45) gedacht worden. Am grossartigsten ist sie bei Kalkstein, welcher einen roten, meist bohnerzhaltigen, zähen und festen Thon als Residuum zurücklässt. Wo man diese Erden mit Sicherheit auf ihren Ursprung zurückführen kann, sollte man sie genau untersuchen, um sie auch in anderen Gegenden, wo der Kalkstein fehlt oder wo sie sich auf sekundärer Lagerstätte befinden, nachweisen zu können.

4) Die vegetative Thätigkeit greift in die Zersetzungs- und Lösungsvorgänge ein, hilft zur Zersprengung der Gesteine, führt dem Boden alle Arten neue, für den Fortbestand der Vegetation sehr wesentliche Bestandteile zu und giebt zur Bildung von Bodenarten Anlass, die wesentlich aus pflanzlichen Substanzen bestehen, wie der Moor, der Torf und der Diatomeenschlamm.

5) Die tierische Thätigkeit vermehrt den Gehalt des Bodens an organischen Substanzen und trägt durch die Ablagerung von kalkigen und kieseligen Gehäusen und Ausscheidungen zur primären Bodenbildung bei. Weitaus am wichtigsten ist diese Funktion am Grunde des Meeres.

b. Sekundäre Bodenbildner.

§ 200. Durch die Wirkung der vorgenannten Agentien bleibt der gebildete Boden noch auf primärer Lagerstätte. Strömendes Wasser, strömende Luft und strömendes Eis sind diejenigen, welche es nach den sekundären Lagerstätten hinschaffen. Der Hauptunterschied in der Wirkungsweise dieser drei besteht darin, dass Wasser und Luft das Material nach der Grösse seiner Bestandteile aufzubereiten und gesondert abzulagern streben, während das Eis keinerlei Aufbereitung ausführt. Jedes von ihnen übt auch Wirkungen der dritten Kategorie aus, indem es dem Felsgesteine durch Korrasion neues Material zur Bodenbildung entreisst, aber schon im Momente des Fortnehmens nach anderen Lagerstätten entführt.

6) Das spülende Wasser (§ 73) kann zur Ansammlung des den Berggehängen entnommenen Bodens am Fusse derselben hinreichen. Grosse Wirkung übt es in regenarmen Gegenden. In diesen ist es häufig das einzige bodenbewegende Agens neben dem Winde. Im allgemeinen sammelt es auf allen geneigten Flächen den Boden, um ihn

7) dem in Kanälen fliessenden Wasser zu überliefern. Es ist erörtert worden (§§ 83—87), wie dieses die gröbsten Fragmente im Gebirge zurücklässt, den Kies weiter voranschiebt, den Sand noch grösstenteils in seinem Flussbette behält und nur das feinste Material in den Ueberschwemmungsgebieten und im Deltalande ausbreitet, sowie auch teilweise in Seen oder in das Meer führt.

8) Die stehenden Gewässer des Festlandes nehmen nur die allerfeinsten Stoffe in die von schwachen Strömungen

bewegten inneren Teile ihrer Becken hinein, um sie dort zu Boden fallen zu lassen. Der Hauptabsatz findet in den Schuttkegeln an den Einmündungsstellen der Ströme statt (§ 84).

9) Das Meer übt die gewaltigste Kraft in der Umlagerung der ihm von den Flüssen zugeführten, sowie der von seiner Brandungswelle den Küsten entrissenen festen Massen aus (§ 154) und trägt dadurch im höchsten Masse zur Bodenbildung auf sekundärer Lagerstätte bei.

10) Die strömende Luft vollzieht nach der Darstellung in § 195 eine seigernde Thätigkeit, welche von einer gewissen geringen Korngrösse nach abwärts sehr vollkommen ist. Es sind wesentlich drei Kategorien von Produkten, in welche sie das lockere Material zerlegt, nämlich: die zurückbleibenden gröberen Teile, der rundkörnige Sand, welcher fortgeschoben und geschleudert werden kann, und der Staub, welcher weit fortgetragen wird. Es werden dadurch wesentlich verschiedene Bodenarten gebildet.

11) Das strömende Eis besitzt an seiner Sohle und auf seinem Rücken eine mächtige Transportkraft, welche einen Unterschied zwischen feinem und grobem Korne nicht kennt. Es bildet daher Bodenarten von besonderer Beschaffenheit. Dem strömenden Wasser und dem Winde überliefert es ausserordentlich bedeutende Massen von Gesteinsfragmenten aller Grössen zur Aufbereitung und zum weitern Transporte behufs geordneter Ablagerung und der Herausbildung gesonderter Bodenarten.

12) Auch der lockere, erdige Absatz aus Lösungen muss den sekundären Bodenbildnern zugerechnet werden. Es beteiligen sich daran die Lebensfunktionen der Organismen durch Absatz von kalkigen und kieseligen, grossenteils mikroskopisch kleinen Panzern. Doch treten auch feste kristallisierte Salze in die Zusammensetzung der Bodenarten ein.

Alle auf sekundärer Lagerstätte befindlichen Bodenarten unterliegen wiederum der Thätigkeit der primären Bodenbildner, um durch diejenigen von sekundärem Charakter abermals und zu oft wiederholten Malen fortgetragen und meist in vervollkommneter Aufbereitung abgelagert zu werden.

c. Doppeltwirkende Bodenbildner.

§ 201. Hierher gehören diejenigen Agentien, durch welche die Bestandteile der Gesteine im Momente ihrer mechanischen oder

chemischen Abtrennung sofort nach anderen Lagerstätten geführt werden; vor allem:

13) Die explosive vulkanische Thätigkeit. Sie allein schafft lockeres Erdreich unmittelbar aus solchem Gesteinsmateriale, welches vorher an der Erdoberfläche nicht vorhanden war. Die Bereitung ist primär, aber das Produkt der mechanischen Zerstäubung wird unmittelbar nach anderen Lagerstätten getragen und bildet einen Boden, welcher der Verwitterung und oft der weitern Fortführung schnell unterliegt.

14) Die Korrasion durch die Brandungswelle, fliessendes Wasser, bewegte Luft und strömendes Eis (§§ 63, 112, 194) zeichnet sich ebenfalls dadurch aus, dass dieselbe Kraft, welche die Auflockerung bewirkt, das Material fortträgt.

15) Die Entführung von Bestandteilen in Lösung kann gleichfalls hierher gerechnet werden.

B. Regional und isotopisch verbreitete Bodenarten.

Auf eine systematische Anordnung der Bodenarten, welche eine Trennung der in der Natur wesentlich auftretenden von den unwesentlichen Vorkommnissen nicht kennt, kommt es hier nicht an; es erscheint vielmehr zweckmässig, den Beobachter auf diejenigen Bodenarten aufmerksam zu machen, welche den Charakter grosser Erdräume zusammenhängend (regional) oder an gleichartig wiederkehrenden Erdstellen (isotopisch) charakterisieren. Sie lassen sich je nach dem im Eingange dieses Kapitels angedeuteten autogenen oder allogenen Charakter ihrer Bildung in zwei grosse Klassen teilen, nämlich den Eluvialboden, welcher sich noch an seiner ursprünglichen Lagerstätte befindet und seine Entstehung den primären Bodenbildnern verdankt, und den Aufschüttungsboden, welcher eine seinen Ursprungsgebieten fremde Lagerstätte einnimmt und durch die Kräfte der sekundären Bodenbildner dorthin geführt worden ist. Diese Unterscheidung lässt sich für die grossen Züge der Verbreitung durchführen; im kleinen und einzelnen ist sie manchmal nicht mit Konsequenz anzuwenden.

a. Typen des Eluvialbodens.

§ 202. 1) Zerfallenes Gestein. — Der Reisende begegnet nicht selten angehäuften Gesteinsblöcken, welche den Felsbau verhüllen. Sie sind von verschiedener Art, kehren aber unter gleichartigen Verhältnissen in gleichartiger Weise wieder. Da die Zersetzungs-

fläche gross ist, findet, wenn das Gestein zersetzbar ist und Feuchtigkeit und Wärme vorhanden sind, eine ausgiebige Verwitterung statt. Es gehören hierher:

a. Unbewegte Trümmerblöcke, d. h. grosse Fragmente anstehenden Gesteines, welche sich noch ganz oder nahezu an ihrer ursprünglichen Lagerstätte befinden. Die Anhäufungen der gerundeten Blöcke von Granit auf mehreren der deutschen Mittelgebirge sind bekannt. Sie finden sich unter ähnlichen Verhältnissen häufig in anderen Gebirgen und verdanken ihre Entstehung der Verwitterung, welche den meist in drei Systemen sich kreuzenden Spalten folgt und die Kerne der Blöcke zurücklässt (§ 46). In höheren Gebirgsregionen und im hohen Norden kommen ähnliche Anhäufungen auch von anderen Gesteinen vor, bei denen die Blöcke ihre scharfen Kanten und Ecken bewahrt haben. Sie sind durch Spaltenfrost gelöst.

b. Trümmer der Bergstürze und Felsbrüche. — Wo durch Auslaugung, Lösung oder andere Ursachen das Anhaften anstehender Felsmassen an der Unterlage gelockert oder wo diese vollkommen entzogen wird, entstehen grosse Anhäufungen von Schuttmassen. Bergabrutschungen (Bergschlipfe) und Bergstürze gehören zu den Mitteln der Thalbildung; ihr Material wird vom strömenden Wasser aufbereitet und fortgeführt. Felsbrüche finden in Kalksteingebirgen statt, wenn die Decke ausgelaugter Hohlräume nicht mehr genügenden Halt hat (§ 45), ferner bei der seitlichen Erosionsarbeit der Flüsse (§ 67, S. 144), indem sie Felsmassen unterhöhlen, und am grossartigsten auf den Brandungsterrassen bei positiver Strandverschiebung (§ 161).

c. Die Schutthalden der Gebirge. Sie wurden in § 83 erwähnt. Man kann Kehlhalden und Flankenhalden unterscheiden. Die ersteren kommen dort vor, wo hinreichender Regen fällt, um die Felsformen der Gebirge herauszumeisseln, und beschränken sich auf die einspringenden Kehlen der Berggehänge. Wo der Regenfall den Schutt nicht zu entfernen vermag, hüllt dieser die Flanken vollständig ein und überzieht selbst die Kämme, sodass wirkliche Kammhalden entstehen können. Die Fragmente sind durch Verwitterung, Frost und Pflanzenwurzeln gelockert und durch Herabfallen zusammengehäuft.

2) Tiefzersetztes Gestein. — Wo in regenreichen und § 203.
waldbedeckten Ländern die in § 48 erörterte, in grosse Tiefe reichende Verwitterung durch einen während langer Perioden fortdauernden Zersetzungsprozess stattfindet, bleiben alle Stoffe,

mit Ausnahme der in Lösung fortgeführten, an Ort und Stelle. Wegen ihrer weittragenden Bedeutung für spätere Umgestaltungen sind solche Gegenden besonders zu untersuchen, vorzüglich die Art, wie sich der Boden an der Oberfläche unter verschiedenen Wärmeverhältnissen gestaltet und welche Umgestaltung er erfährt, wenn das Klima sich hinsichtlich seiner Feuchtigkeit ändert und die Verwitterungsprodukte an Ort und Stelle bleiben, eine andere Vegetation aber an die Stelle der früheren getreten ist. Auch ist das Verhalten verschiedener Gesteine hierbei zu berücksichtigen. Geneigte Schichtenstellung und häufiger Wechsel des Gesteines sind dem Vorgange günstig.

§ 204. 3) Eluvialboden der Tafelländer. — Mit dem Namen Eluvium ist im Gegensatze zu dem durch Ablagerung entstandenen Diluvium und Alluvium in den centralen Teilen von Russland der Boden bezeichnet worden, welcher sich dort auf der Oberfläche des festen Gesteines durch atmosphärische Einflüsse allein, abgesehen von dem, was äolische Niederschläge beigetragen haben könnten, gebildet hat. Verwitterung und Frostwirkung sind die Hauptagentien. Aber das erste der beiden hat auf Tafelländern im allgemeinen eine untergeordnete Bedeutung; denn die horizontalen Schichtgesteine, aus denen diese bestehen, sind in der Regel entweder Sandstein, dessen thoniges Bindemittel oft nur wenig zersetzbar ist, aber durch Auslaugung kalkiger Beimengung oder durch Frost gelockert werden kann, oder thonige Gesteine, für die dasselbe in erhöhtem Masse gilt, oder Kalkstein. Dieser kommt mit Rücksicht auf seine Lösungsrückstände am meisten in Betracht. In den selteneren Fällen, wo permeable Tuffgesteine die Oberflächenschichten von Tafelländern bilden, haben die Verwitterungsvorgänge an den sie zusammensetzenden Bisilikaten freies Spiel. — Die mechanische Zerstörung jeglicher Art ist auf der Oberfläche von Tafelländern verhältnismässig gering, weil dieselbe sich mit den Produkten der erstern bedeckt und die Unterlage schützt. Aber gerade weil sie liegen bleiben, ist meist eine Eluvialdecke von besonderm, wenn auch keineswegs gleichem, sondern bei derselben Gesteinsart vom Klima abhängigem Charakter vorhanden. Sind die Flächen kahl, wie bei den Hamadas der Sahara, so besteht die eluviale Decke nur aus den für den Wind nicht transportfähigen Gesteinsfragmenten, zu denen noch etwas hinzugewehter Sand kommen kann. Sind sie mit Vegetation bedeckt, so wird im Gegenteile das eigentlich eluviale Material durch äolisch zugeführte Bestand-

teile vermehrt und durch sie wesentlich in seiner Fruchtbarkeit, die sonst wegen der Einheitlichkeit des zu Grunde liegenden Gesteines gering sein würde, erhöht. Der Eluvialboden ist bei der Aufnahme geologischer Karten wichtig, weil der Beobachter bei einiger Uebung den durch ihn verdeckten Felsbau aus seiner Beschaffenheit zu erkennen vermag. Dies gilt nicht nur für denjenigen der Tafelländer, sondern auch für mehrere der anderen Typen.

§ 205. 4) Gehängelehm. — Mit diesem Namen hat man die in dem gemässigten feuchten Klima der deutschen Gebirge vorkommenden, durch Eisenoxydhydrat braun gefärbten, oft mit nicht gerollten Gesteinsbrocken erfüllten, zähen Lehme bezeichnet, welche als das aus der Verwitterung verschiedener Gesteine (insbesondere der kristallinischen Schiefer und Eruptivgesteine) hervorgehende, durch spülendes Wasser in die Hohlkehlen und die unteren Teile der Berggehänge zusammengeführte Endprodukt anzusehen sind und infolgedessen je nach den Gesteinen, von denen sie stammen, ein wenig voneinander verschieden sein werden. Besonders wird die Beimengung von Sandkörnern im Falle der Entstehung aus Sandstein, von eckigen Quarzkörnern und Quarzfragmenten im Falle der Bildung aus kristallinischen Schiefern mit Quarzgängen u. s. w. einzelne Abweichungen veranlassen. Ist der Lehm aus Basalt oder aus dem Residuum gelöster Kalksteine entstanden, so wird er von solchen Beimengungen frei sein. Es sollte der geographischen Verbreitung dieser Gebilde Aufmerksamkeit geschenkt werden. Sie finden sich nicht in den Tropen und scheinen hohen Breiten ebenfalls zu fehlen, dürften also speziell als ein den feuchten Teilen der gemässigten Zonen angehöriges Produkt zu betrachten sein. Die Grenzen ihrer Verbreitung in den Mittelmeerländern sind nicht bekannt. Von dem bis in die Tiefe zersetzten Gesteine (§ 203) unterscheidet sich der Lehm dadurch, dass dort die Struktur des zu Grunde liegenden Gesteines mit grosser Schärfe erkennbar, hier hingegen vollständig zerstört ist, indem die Teilchen durch spülendes Wasser vermengt sind. Er bildet dadurch, ebenso wie mancher Laterit, einen Uebergang zu dem Aufschüttungsboden. Vielleicht liegen noch andere Ursachen der besondern Natur des Lehmes zu Grunde.

§ 206. 5) Laterit. — Was der Gehängelehm für die feuchten Gebirgsländer der gemässigten Zone und der Löss für die halbtrockenen Steppenländer gemässigter und tropischer Gebiete,

das ist hinsichtlich der Bestimmung des Bodencharakters über weite Regionen der Laterit für die regenreichen tropischen Erdräume. Er gehört zu den verbreitetsten Bodenarten, ist aber ausserhalb Indiens bis vor kurzem kaum beachtet und nicht untersucht worden. Der Reisende bemerkt ihn zuerst an der ziegelroten Farbe der Landstrassen und des alles durchdringenden Staubes. Er erhielt von dieser Eigenschaft durch Buchanan seinen Namen (nach *later*, der Ziegelstein). Im frischen Zustande ist er fest, aber schneidbar, braun, rot, gelb und weiss gefleckt, thonig und zuweilen etwas sandig. Die hellen und weissen Teile sind weicher als die anderen; daher werden sie an den Flächen eines Anschnittes, z. B. bei dem Ziehen eines Grabens oder dem Einschneiden einer Strasse, leicht vom Regen herausgewaschen. Eine solche Fläche erhält dadurch ein zellig-schwammiges Gefüge. Die stehenbleibenden dunkleren Teile sind eisenreich. Sie werden bald glänzend braun oder schwärzlich und hart, sodass die Anbruchsfläche ein vollkommen schlackenartiges Ansehen erhält. Solche schlackige Krusten klingen zuweilen hohl und sind für vulkanische Gebilde gehalten worden. Vor diesem Irrtume, welcher falsche Angaben über das Vorkommen von Vulkanen in die Litteratur gebracht hat, hat sich der Reisende zu hüten. Ein einfaches Durchschlagen der Decke genügt, um den Laterit zu zeigen. Auch ist sie dadurch charakterisiert, dass sie durch Zerreiben ein rotes Pulver ergiebt.

Das Eisen ist als Eisenoxyd und Eisenoxydhydrat vorhanden; sein Gehalt (in metallischem Eisen ausgedrückt) beträgt zuweilen 25—36 %. Daher wird der Laterit in manchen Gegenden, besonders Afrikas, zur Darstellung von Eisen benutzt.

Der Laterit findet sich in frischem Zustande dort, wo hohe Wärme, Regenreichtum und üppige Vegetation sich vereinigen. Am besten ist er in Indien bekannt, wo Regur- und Lateritbildung einander ausschliessen. Er bedeckt die feuchten Gebiete des tropischen Afrika, insbesondere an der Westküste. Man kennt ihn im Kongobecken und im Monbuttulande. In Brasilien ist er sehr verbreitet.

Die Entstehungsart des Laterites ist noch unvollkommen bekannt. Man hat ihn irrtümlich für ein Meeresgebilde, für ein Ablagerungsprodukt des Süsswassers und für ein solches der vulkanischen Auswurfsthätigkeit gehalten. Als sicher lässt sich anführen, dass er aus der Zersetzung von anstehendem Gesteine

hervorgehen kann, und zwar unter denselben Bedingungen, welche in kühlerem Klima zur Entstehung des Gehängelehms Anlass geben. Er bildet die noch ganz an ihrer ursprünglichen Lagerstätte befindliche Verwitterungsdecke zuweilen vollständig bis zum unzersetzten Gesteine, bei Tiefenzersetzung aber vielleicht nur in den obersten Teilen. Als Zersetzungsprodukt von Gneis kennt man den Laterit auf Ceylon, in Indien und in Brasilien, als Umwandlungsprodukt thoniger Sandsteine wird er bei Pungo Andongo und bei Travancore angegeben; in der Nähe von Goa bildet er sich aus Basalt. Es scheint, dass unter günstigen Verhältnissen in den Tropen die meisten an Thonerdebisilikaten reichen Gesteine in Laterit umgewandelt werden können. Aber auch alluviale und äolische Bildungen sind einer lateritischen Metamorphose fähig. Was in die dichte Vegetation hineingeschwemmt wird und sich zwischen ihr ablagert und was aus der Atmosphäre zugeführt wird, erleidet Umänderungen in Erden, welche häufig die wesentlichen Merkmale des Laterites besitzen. Als eine dritte Entstehungsart lässt sich die Vereinigung zusammengeschwemmter Lateritbestandteile zu kompaktem Laterit bezeichnen.

Kann man auch die Thatsache dieser verschiedenartigen Umwandlungsprozesse häufig genug beobachten, so fehlt es doch an jeglicher Erklärung, weshalb die genannten Verhältnisse zur Bildung gerade dieser Bodenart, insbesondere zur Ansammlung des Eisens und seiner Fixierung als rotes Oxyd führen, und weshalb der lehmigen Zersetzung in den feuchten Gegenden gemässigter Zonen die lateritische in den Tropen gegenübersteht.

Die Eigenschaften des Laterites führen zuweilen besondere Erscheinungen herbei. In Indien unterscheidet man den Hochflächen-Laterit. Auf flach ausgebreiteten Höhen, welche durch tiefe Thäler getrennt werden, insbesondere auf dem vulkanischen Gesteine des sogenannten Dekkan-Trapp, bildet er eine Decke von 50—200 Fuss Mächtigkeit, die bis zu einer Meereshöhe von beinahe 5000 Fuss hinaufgeht. Die Decke war nach den Berichten der indischen Geologen früher zusammenhängend, ist aber jetzt vielfach unterbrochen. Als Bildungsperiode wird von einigen die frühe Tertiärzeit angenommen. Wo immer er sich dort auf solcher Lagerstätte befindet, bildet der Laterit öde schlackige Plateaus mit verkümmertem Wuchse von Bäumen und Sträuchern. Als seine ursprüngliche Entstehungsursache kann man nur diejenigen Vorgänge annehmen,

welche ihn gegenwärtig hervorbringen. Es muss also dichte Bewaldung vorhanden gewesen sein. Es ist zu untersuchen, ob nicht das Eingraben tiefer Furchen durch fliessendes Wasser den Anlass zu der Umwandlung gegeben hat und noch jetzt stellenweise giebt. Es würde den Laterit auf den Höhen zurücklassen; das Regenwasser würde in den schwammigen Boden einsinken; die Wurzeln der tropischen Waldbäume würden der beständigen Wasserzufuhr beraubt werden; die Wälder würden verschwinden, eine Schlackenrinde sich an der Oberfläche bilden. Da nun der Laterit das bei der Zersetzung übrigbleibende Produkt selbst ist, so kann er weiterhin eine Zersetzung nicht erleiden und bleibt unverändert als Decke liegen, während das darunter liegende Gestein weiterer Verwitterung unterworfen ist. So kann er durch lange Zeitalter an derselben Lagerstätte verharren, nur die Produkte seiner mechanischen Zerstörung werden in die Thäler herabgeschwemmt und geben zur Neubildung von Laterit Anlass.

Mit dem Laterit selbst sollten diejenigen Bodenarten untersucht werden, welche aus seiner Schlämmung hervorgehen, wenn er von strömendem Wasser behandelt wird: das gröbere Residuum ebenso wie das feine thonige Material, welches unter dem Einflusse der üppigen Vegetation vielleicht wieder die Lateritstruktur annimmt.

Auch andere Derivate des Laterites sind von Interesse. Es wurde bereits (§ 189, 1) angeführt, dass den grossen Mengen dieses Bodens, welche durch die brasilischen Ströme dem Meere zugeführt werden, die rote Farbe des den Meeresgrund weithin und bis zu bedeutenden Tiefen bildenden Schlammes zugeschrieben werden muss. Eine weit hervorragendere Rolle würde der Laterit spielen, wenn die Abrasionswelle über Brasilien hinschritte und den im Verlaufe langer Zeiträume gebildeten roten Boden hinwegräumte, um ihn in transgredierenden Sedimenten wieder zur Ablagerung gelangen zu lassen. Dies ist aber die Entstehungsart vieler Gebilde der Vorzeit gewesen, und es verdient Beachtung, dass die gewaltigsten Anhäufungen rotgefärbter Sedimentmassen in den oft transgredierend auftretenden Schichten des Rotliegenden vorkommen, diesen aber der Zeit nach die Steinkohlenepoche voranging, in welcher nach Analogie mit der Jetztwelt die intensivste mit Lateritbildung verbundene Tiefenzersetzung der Gesteine des Festlandes stattgefunden haben muss. Ueber dieses und viele andere Schicht-

gebilde früherer Zeitalter wird die genauere Untersuchung des Laterites Licht werfen.

6) Vegetationsboden: Humus, Moor und Torf. — § 207. Der durch die Verwesung der Pflanzen entstehende Humusboden und seine Bedeutung wurden bereits in § 32 betrachtet; es ist ein Vorgang, welcher sich der Gesteinsverwitterung vergleichen lässt. Ebenso wurde dort auf die bei Mangel an Luftzutritt stattfindende Vermoderung und die daraus hervorgehende Bildung von Torf, Braunkohle und Steinkohle hingewiesen.

Da der Humus weitere Zersetzungen erleidet, so würde ohne seine fortdauernde Erneuerung nur die Asche der Pflanzen in dem Boden zurückbleiben. Er hat die wichtigen Eigenschaften, Ammoniak in grosser Menge zu binden und durch Absorption von Stickstoff aus der Atmosphäre selbst zu bilden, ferner die Wärme der Sonnenstrahlen in bedeutendem Masse aufzunehmen, sich aber doch wegen seiner hohen spezifischen Wärme nur langsam zu erwärmen, die erlangte Temperatur hingegen umsomehr festzuhalten, endlich das Wasser gleichsam zu binden, daher ein an sich trockener Boden durch die Beimengung von Humus feucht erhalten wird, während dieser andererseits einen nassen Boden porös und damit trockener macht.

Den Kulturboden und den für die Vegetation überhaupt am meisten geeigneten Boden bilden die thonerdehaltigen und sandigen mit Humus vermengten Bodenarten. Die unten (§ 217) zu nennende Schwarzerde und der Boden der Flussmarschen enthalten in der Regel 5—20 % Humus; sie bilden die fettesten Grasfluren. In Urwäldern ist der Gehalt grösser; in ihnen entsteht oft eine mehrere Fuss dicke Humusschicht aus Blättern, Aesten und Zweigen. Die nordischen Urwälder und Wiesen beruhen wesentlich auf dem Humusreichtum.

Eine trockene, heisse Jahreszeit ist der Humusbildung ungünstig. Daher sind die Mittelmeerländer arm daran; ihnen fehlen die Wiesen. Die mongolischen Steppen enthalten ihn in geringer Menge; die sibirischen und wie es scheint auch die mandschurischen sind reich daran. Mit der Schnelligkeit der Verwesung hängt der Charakter der Wälder zusammen. In den Urwäldern der Tropen bilden umgestürzte Baumstämme nur selten ein Hindernis des Fortkommens; diejenigen der nordischen Gegenden sind ungangbar wegen der grossen Menge umgefallener, mit Moos überwachsener und langsam verwesender

Baumstämme, welche zuweilen mehrere Meter hoch angehäuft sind. In Kalifornien und den Mittelmeerländern begünstigt der trockene heisse Sommer die schnelle Verwesung. Dort sind die Wälder licht und ohne Unterholz; sie enthalten wenig Humus; umgefallene Stämme verwesen schnell und häufen sich nicht an. Von ganz anderer Art sollten die Verhältnisse in Alaska sein. Auch wo die Monsune den regelmässigen Wechsel einer trockenen und einer feuchten Jahreszeit verursachen, ist die Humusbildung beschränkt. Das Fehlen eigentlicher Wiesen in China hat wahrscheinlich darin seinen Grund; und die dichten Haine locker gestellter aber mächtiger Bambusen, welche die Hügel in grossen Teilen der hinterindischen Halbinsel bedecken und nur in Niederungen dem tropischen Urwald Platz machen, dürften auf der durch das Vorhandensein einer trockenen Jahreszeit veranlassten Armut an Humus beruhen.

Das Wechselverhältnis von Humus, Klima und Vegetation gestaltet sich ausserordentlich verschieden. Die Rolle des erstern beginnt erst in den Kulturländern gemässigter Zonen genauer erforscht zu werden. In den weniger kultivierten Gebieten, im hohen Norden und in den Tropen wird der aufmerksame Reisende, der sich mit der Bodenkunde vertraut gemacht hat, reichen Stoff zu neuen Beobachtungen von grossem Interesse finden. Hier kann auf den Gegenstand nicht tiefer eingegangen werden; die wenigen Andeutungen mögen genügen.

Die Vorgänge der Torfbildung sind noch unzureichend bekannt. Die gegenwärtigen Erklärungen geben keinen Aufschluss darüber, weshalb dieselbe den tropischen Gebieten und dem grössten Teile der südlichen gemässigten Zone, mit Ausnahme der höheren Gebirge, fehlt, dagegen in der nördlichen gemässigten und kalten Zone in grosser Verbreitung auftritt. Dies ist um so rätselhafter, als die den Torfmooren verwandten Bildungen der Vergangenheit, welche zur Ablagerung der Steinkohlenflöze führten, gänzlich und diejenigen, aus denen die Braunkohle hervorging, grossenteils unter einem intensiven und sehr feuchten tropischen Klima gestanden haben. Es sind daher über den Gegenstand viele weitere Untersuchungen erforderlich.

Torf entsteht in feuchten sumpfigen Wäldern und in seichten Wasserbecken aus vermodernden Pflanzenstoffen. Eine scharfe Grenze gegen die Humusbildung ist nicht vorhanden; beide Vorgänge sind durch Uebergangsstufen verbunden. Die Ver-

änderung der Holzfaser oder Cellulose liegt beiden Vorgängen zu Grunde; aber bei der Verwesung findet wesentlich Oxydation durch Luftzutritt statt; bei der Vermoderung treten bei Luftmangel sogar reduzierende Prozesse ein. Wo Torfbildung vor sich geht, tragen die verschiedensten Pflanzen dazu bei. Einen nicht unwesentlichen Anteil nehmen Moose (besonders von den Gattungen *Sphagnum* und *Hypnum*), deren verfilzte Stengel ihn zuweilen allein bilden. Baumwurzeln und umgestürzte Bäume sind jedoch im ganzen in höherm Grade an seiner Zusammensetzung beteiligt. Anfangs sind die einzelnen Pflanzenteile noch gut erkennbar; der Torf hat dann eine braune Farbe und ist locker; aber mit dem Alter wird er gleichmässiger, bekommt schwarze Farbe und ein erdiges Aussehen bei grösserer Festigkeit.

Föhren, Rottannen, Weiden, Pappeln und Birken sind häufige Bestandteile der nordischen in der Fortbildung begriffenen Torfmoore; Eichen sind in solchen der Vorzeit als charakteristisches Element gefunden worden. Das Knieholz, *Pinus Pumilio*, ist bei den Torfen der Hochgebirge thätig. In Nordcarolina sind Cypressen vorwaltend. An der Westküste von Südamerika, wo die Torfbildung mit der Insel Chiloe beginnt und von dort bis zum Feuerlande fortsetzt, giebt es keine Moose als Torfbildner: *Liliaceen* und *Saxifrageen* haben die Hauptrolle dabei. Von anderen an der Verwesung beteiligten Pflanzen mögen die Gattungen *Calluna*, *Vaccinium*, *Empetrum*, *Andromeda*, *Leda*, *Scirpus*, *Carex* genannt werden.

Der Reisende kann aus den verschiedensten Gegenden Materialien zur vergleichenden Kenntnis der Moor- und Torfbildungen sammeln. Von Interesse sind: der Untergrund nach Zusammensetzung und Gestalt, die Mächtigkeit des Torfes, seine Beschaffenheit in verschiedenen Tiefenstufen, die Arten der an der Bildung beteiligten Pflanzen, welche in den einzelnen Lagen verschieden sein können, die Frage, ob Fortbildung stattfindet oder ob der Vorgang sein Ende erreicht hat und was in letzterm Falle die Ursachen davon sind (klimatische Aenderung, Entwaldung etc.), welches das Mass des Fortwachsens ist. Bezüglich des letztern kennt man in Ländern, wo Torf gestochen wird, die Periode der Erneuerung; so soll man in Irland 10 Jahre als hinreichend für die Wiederbildung einer 3—4 m mächtigen Schicht annehmen; in anderen Ländern ist die Erneuerungsperiode 20, 30, 40 und bis 100 Jahre. In Hochgebirgsthälern

bemisst sich das Wachstum in Jahrhunderten wahrscheinlich höchstens nach Decimetern.*)

§ 208. 7) Lösungsrückstände. — Es ist an einer andern Stelle (§ 45) der Bodenbildung vermittelst der Ansammlung der Verunreinigungen des in Lösung fortgeführten Kalksteines gedacht worden, sowie der Folgerungen, welche sich daraus auf die ehemalige Masse des letztern ziehen lassen. Nur in wenigen Fällen hat man diesem Vorgange hinreichend Rechnung getragen; doch verdient er eingehendes Studium, besonders an der Hand des Residualbodens. Sehr rein in Hinsicht auf das genetische Moment findet man letztern in den Höhlen und Grotten des Kalksteins, welche zum Teile von Flüssen durchströmt werden, meistenteils aber nur durch die Sickerwasser des Gesteines Feuchtigkeit erhalten. Da diese Hohlräume durch Auflösung des Kalksteines entstanden sind, so entspricht ihrem Rauminhalte eine gewisse Menge ungelöst zurückgebliebener Verunreinigungen. Fand fliessendes Wasser keinen Zugang und vermochte das Sickerwasser nicht in Rinnen abzuströmen, so sind jene Bestandteile auf dem Boden der Höhlen als eine braune, stark eisenhaltige, meist von Stalagmitbändern durchzogene Erde zusammengehäuft. Wo hingegen fliessendes Wasser durch Spalten, Klüfte oder Hohlräume eintreten konnte, verursachte es nicht nur grössere örtliche Zusammenschwemmungen des Residualbodens, sondern hat oft noch andere lockere Massen, wie Sand, Kiesel und Thone von aussen herzugespült und über jenem in Schichten ausgebreitet. Zuweilen ist das Zuströmen periodisch unterbrochen gewesen. Dann können verschiedenartige Ablagerungen miteinander wechseln. Es ist daher bei der Untersuchung des Höhlenbodens stets die Trennung der Lösungsrückstände und der Einschwemmungen zu beachten. Hinreichendes Interesse zur Ausführung solcher Beobachtungen erhält er meist erst dann, wenn sich tierische Reste oder die Merkmale früherer Anwesenheit des Menschen finden. Die einzelnen Ablagerungen bezeichnen dann ebenso viele getrennte Bildungszeitalter. — Findet man Residualboden in trockenen Ländern, so weist er auf einen Wechsel des Klimas, da er nur bei reichlicheren Niederschlägen entstehen konnte.

---

*) Zu eingehenderm Studium über den Gegenstand ist zu empfehlen: F. Senft, Humus-, Torf-, Marsch- und Limonitbildung. Leipzig 1862.

b. Typen des Aufschüttungsbodens.

Die fortschaffenden Agentien verschiedener Art haben eine so allgemeine Verbreitung, dass die hierher gehörigen Bodenarten weit grössere Erdräume einnehmen als die vorhergenannten. § 209.

8) Die groben Sedimente der Gewässer des Festlandes. — Nach der frühern Darstellung (§ 83) sind dies die Rückstände der Aufbereitung, welche die fliessenden Gewässer an allen gelockerten Massen, welche sie vorfinden oder welche ihnen zugetragen werden, vollziehen. Je gröber sie sind, desto geringere Fortschaffung haben sie in der Regel erlitten. Es gehören hierher: der Blockschutt der Wildbäche, der Schotter, Kies und Sand der Ströme und Seen. Die Verbreitung hat entweder die Form langgestreckter Bänder, welche den ehemaligen oder jetzigen Wasserläufen folgen, oder diejenige fächerförmiger Dejektionskegel. Durch seitliche Einengung der letzteren entstehen Zwischenformen.

a. Die Sturzkegel der Wildbäche stellen ungeordnet übereinandergehäufte Trümmermassen dar, welche durch plötzlich eintretende grosse Fluten herabgewälzt und an der ersten Stelle des Ueberganges zu geringem Gefälle chaotisch abgelagert wurden. Die Gesteinsstücke sind meist wenig gerollt. Für alle Hochgebirge sind die Sturzkegel charakteristisch, aber am grossartigsten finden sie sich in regenlosen Gebirgsländern, wo im Verlaufe von Jahren einmal ein sehr heftiger Guss fällt (s. S. 151).

b. Als Schotter bezeichnet man die Zusammenhäufung gerundeter und abgeschliffener grösserer Gesteinsgerölle, welche in der Regel mit feinerem Gerölle und Sande vermengt sind. Er findet sich in schnellfliessenden Gebirgswassern, welche ihn fortdauernd neu bereiten und soweit hinabführen, als sie ihn zu tragen vermögen, bis sie ihn in Seen, in Gebirgsthälern oder am Fusse der Gebirge ablagern. In besonders grosser Masse findet man ihn in Gegenden früherer Vergletscherung und in den denselben vorliegenden Gebieten. Man nennt ihn Glacialschotter, insoweit als seine Ablagerungen aus der Glacialzeit selbst stammen. Der in denselben Gegenden später abgelagerte und häufig noch jetzt in den Flussbetten fortbewegte Flussschotter ist zum Teile jenem entnommen. Durch die periodische Aenderung der Wassermasse und der Menge der zugeführten Sedimente entstehen Schotterterrassen, welche als Längsstufen der Flüsse (s. § 93) auftreten.

Infolge häufiger Stromänderung bildet der Schotter häufig flache Kegel an solchen Stellen, wo die fliessenden Gewässer aus engeren Thälern herauskommen und Weitungen oder ebenes Land betreten. Münden viele Querthäler an einem langgestreckten Gebirgsrande, so vereinigen sich die Schotterkegel zu einer glacisartigen Schotterabdachung, wie in Südbayern und an der Ostseite der patagonischen Anden.

Von dem Flussschotter ist der Seeschotter zu unterscheiden, welcher durch steilere Neigung der Schichten (§ 84) und regelmässige Schichtung charakterisiert ist. Für Reisende in China sei hier besonders auf gewisse Ablagerungen an der Südseite des untern Yang-tszĕ-kiang aufmerksam gemacht, welche stellenweise von dem Flusse bespült werden und eine ausgeebnete Terrasse von grosser Breite bilden. Dieselben bestehen aus einer scheinbar viele Kilometer mächtigen Reihenfolge geneigter Schichten, in denen Schotter, Gruss und Sande wechseln, und fallen vom Gebirgsrande weg gegen das Innere der Grossen Ebene hin. Ihr Material ist den angrenzenden Gebirgen entnommen.

Man findet die Schotterablagerungen zum Teile als lose Haufwerke, zum Teile in einem mehr oder weniger vorgeschrittenen Zustande kalkiger Cementierung, besonders wenn Kalkstein an der Zusammensetzung teilnimmt. Fast immer lassen sie das Wasser leicht durch und sind, wenn sie mächtig lagern und dem Wasser einen tiefgelegenen Ausfluss gestatten, ungünstig für solche Pflanzen, welche viel Feuchtigkeit brauchen. Daher sind hohe Schotterterrassen an Flüssen meist unfruchtbar. Ein thoniges Bindemittel vermag das Wasser zurückzuhalten und den Schotter für Waldvegetation geeignet zu machen. Einen ähnlichen Effekt kann die kalkig-sandige Verkittung haben. Den in mächtigen Schichtmassen auftretenden cementierten, oft mit Sand wechselnden Schotter jüngerer Formationen pflegt man als Nagelfluh zu bezeichnen. Sie bildet zuweilen Gebirgszüge und giebt durch Auflösung Anlass zu neuen Anhäufungen von lockerm, eluvialem und Flussschotter.

Es giebt Schotter, welche nicht den Gewässern der Festländer ihre Entstehung verdanken. Dahin gehören die Strandschotter. An der Bereitungsstätte sind Rollsteine der verschiedensten Grössen miteinander gemengt; aber wo der Stoss der unter schiefem Winkel heranrollenden Wellen (§ 155) eine seitliche Versetzung und wallartige Anhäufung verursacht, sammelt

er die Gerölle von gleicher oder ähnlicher Grösse. Solche Wälle, welche grosse Breite und Mächtigkeit erreichen können, und welche sich ebenso durch den Mangel an Schichtung als durch das Fehlen von Beziehungen zu strömenden Gewässern auszeichnen, werden sich auch im Innern der vom Meere verlassenen Länder nachweisen lassen. — Schotter und Kies der Wüsten werden zwar immer eine äolische Korrasion erfahren haben (§ 194), aber ihre Entstehung wird nur zuweilen der mechanischen Einwirkung des Windes ganz zuzuschreiben sein; man kann es auch mit trockengelegtem Stromschotter oder Süsswasserablagerungen zu thun haben.

Die Aufschüttungen von Kies sind von denen des Schotters zunächst hinsichtlich der Grösse der Gesteinsbruchstücke verschieden; aber ein wesentliches Merkmal des erstern besteht auch darin, dass der Quarz in der Regel eine sehr viel bedeutendere Rolle spielt. Dies deutet auf eine ungleich intensivere Abnutzung und Zerreibung der weniger harten Gesteinsstücke. Während der Schotter sich meist auf erster Lagerstätte befindet, hat der Kies wahrscheinlich in der grossen Mehrzahl der Fälle eine oftmalige Umlagerung erfahren; er kann durch wiederholte Korrasion aus grobem Schotter entstanden sein. Dies gilt in noch höherm Grade vom Sande, auf dessen Entstehungsart oben hingewiesen wurde. Die Form der Ablagerung beider durch die Gewässer des Festlandes ist dieselbe wie beim Schotter. Aber die Dejektionskegel sind weit flacher (§ 83) und können bei dem Sande grosse Landstriche von kaum merklicher Neigung der Oberfläche umfassen; oft hat noch eine äolische Umlagerung stattgefunden.

Wo immer der Reisende Ablagerungen von Schotter, Kies und Sand findet, solle er es im Auge behalten, dass die Thatsache ihres Vorkommens, wenn auch von Interesse an sich, doch ihre Bedeutung erst dadurch erhält, dass jene Gebilde Produkte von mechanischen Umwandlungsvorgängen sind, welchen man nachgehen muss, um die Geschichte einer Gegend kennen zu lernen. Es werden sich oft Erklärungen darbieten, welche hier eine Erwähnung nicht gefunden haben.

9) Die feinerdigen Sedimente der Gewässer des Festlandes. — Diese bilden teils für sich allein, teils mit Sand vereint oder als Beimengung von Kies die fruchtbaren Flachböden der Flussthäler und ihrer Ueberschwemmungsgebiete. Vorherrschend sind thonige Bestandteile als die Rückstände § 210.

der Verwitterung; dazu kommt zerriebenes, daher noch zersetzungsfähiges Gestein, Kieselmehl, Glimmer, organische Teilchen und anderes. Obgleich der feinerdige Boden der grossen Alluvialthäler in jedem einzelnen Falle aus zahllosen Orten zusammengeschwemmt ist und von verschiedenen Gesteinen stammt, scheint er doch einen regional verschiedenen Charakter zu haben. Wie der Ueberschwemmungsboden des Gelben Flusses, welcher der feinste thonige Extrakt des Lösses ist, sich von dem des Yangtszĕ-kiang und des Stromes von Kanton unterscheidet, so scheinen die Sedimente des Nil und die ihnen ähnlichen des Ganges von denen des Irawaddy und der Ströme Hinterindiens verschieden zu sein, und wiederum von anderer Art sind die schwarzen Alluvien von Pasuruan auf Java, welche vulkanischen Gesteinen entstammen und einen Garten von kaum erreichter Fruchtbarkeit bilden. Es wäre von Interesse, die Ueberschwemmungserden der verschiedenen Ströme zu vergleichen. Es sollten dazu auf Reisen Proben mit guter Auswahl unterhalb des Bereiches der Dammerde gesammelt werden. Einige Gesichtspunkte der Untersuchung sind unten (§ 219) für die thonigen Bodenarten überhaupt angegeben.

§ 211. 10) Die chemischen Absätze aus Süsswasser. — In der Regel ist die Rolle dieser Gebilde unbedeutend, aber sie ist von Interesse, wo sie sich nachweisen lässt. Kieselsinter wird nur von heissen Quellen in vulkanischen Gegenden geliefert. Der Süsswasserquarz, ein schwer zu erklärendes, gewöhnlich durch den Einschluss zahlreicher, vorzüglich erhaltener Gehäuse von Süsswasserschnecken ausgezeichnetes Gebilde, tritt nie als lockerer Boden auf. Dagegen kann man diesem den Kalktuff zurechnen, welcher streckenweise die Oberfläche bildet und deren Charakter in Hinsicht auf Vegetation bestimmt. Das grossartigste Beispiel bietet die Ebene von Adalia in Lykien, welche ganz aus Kalktuff besteht und mit einem 80 Fuss hohen Steilabfalle gegen das Meer endigt, nach dem Innern aber in Terrassen ansteigt. Kleinasien bietet mehrere ähnliche Vorkommnisse.

§ 212. 11) Die marinen Bodenarten. — Grosse Teile der kontinentalen Tiefländer und der die Binnenmeere, vor allem das Kaspische Meer, umgebenden Flachboden sind von früherer Meeresbedeckung befreit und in einzelnen zum Teile sehr breiten Zonen mit Süsswassersedimenten bedeckt worden. Die dem Meere entstammenden Gebiete sind bald sandig, bald thonig und sollten.

wo immer man die Abgrenzung gegen diejenigen des Süsswassers finden kann, getrennt untersucht werden. Regenreichtum vermindert bald den Salzgehalt und erlaubt erst niederen, dann höheren Pflanzenformen die Ansiedlung. Bei Regenarmut entstehen Wüsten. In vielen Fällen, wo der marine Ursprung wahrscheinlich, aber nicht erwiesen ist, ist die Auffindung von Meeresorganismen von Interesse. Der Einfluss des Wechsels von marinem und fluviatilem Boden auf die Verteilung des Ackerbaues, der Ansiedlung und der Kultur wird stets ersichtlich sein, wo eine äolische Aufschüttung nicht vorhanden ist. Diese ändert den Charakter und ist wohl zu beachten. — Einzelne Besonderheiten des dem Meere entstiegenen Bodens mit Rücksicht auf Beschaffenheit und Oberflächenformen ergeben sich aus den Erörterungen in §§ 188, 189.

12) Glacialschutt. — Als ein regionales Deckgebilde § 213. spielt der Glacialschutt, vor allem die Grundmoräne, eine sehr wichtige Rolle, und zwar in den Ländern höherer Breiten bis weit in die Ebenen hinein, in wärmeren Regionen nur in Gebirgen. Der Charakter des germanischen und des nordrussischen Flachlandes wird bekanntlich grösstenteils durch seine mächtigen Ablagerungen bestimmt. Da er wesentlich aus zertrümmertem und zerriebenem Gesteinsmateriale besteht, so gewährt er den zersetzenden Agentien grosse Angriffsflächen und eignet sich zum Waldwuchse; wenn er mürbe, gelockert und von Humus durchsetzt ist und das Bodenwasser Abfluss hat, ist er auch für die Bodenkultur günstig. Seine Oberfläche (s. § 106) zeichnet sich durch Unebenheit aus und neigt zur Seebildung, daher zu Brüchen (besonders Erlenbrüchen), Mooren und Moosen. Es ist von Interesse, die Grenzen des Glacialschuttes in den Flachländern aufzusuchen und den Einfluss dieser Grenzen auf spontane Vegetation und Ackerbau zu prüfen. Im östlichen Nordamerika fand Pumpelly jenseits der Grenze des Glacialschuttes die regionale Bodenzersetzung; in Russland liegen jenseits derselben Grenze die durch das Eluvium charakterisierten Gebiete. In beiden Fällen sollte ein Wechsel nach verschiedenen Beziehungen stattfinden. Innerhalb der Regionen des Glacialschuttes treten andere Gebilde auf, besonders infolge der Umlagerung, welche derselbe durch Wasser und bewegte Luft erfährt. Der Charakter der Flussalluvionen wird ebenfalls dadurch bestimmt.

13) Vulkanischer Boden. — Das durch explosive § 214. Thätigkeit zerkleinerte und zum Teile fein zerstäubte Gestein

wird rings um den Herd der Ausbruchsthätigkeit als ein fremdartiges und echtes Aufschüttungsgebilde abgelagert. So verschieden der dadurch gebildete Boden in petrographischer Hinsicht sein kann, ist ihm doch dieses hervortretende genetische Moment stets eigentümlich. Gerade wie die Vulkane und vulkanischen Gesteine überhaupt, wo immer sie auftreten, so ruft auch der vulkanische Boden in örtlicher Beschränkung eigenartige Bedingungen hervor. Die ausserordentliche Angriffsfähigkeit, welche die meist blasig oder schaumig aufgeblähten Gesteinsfragmente den zersetzenden Agentien darbieten, verursacht zusammen mit der Absorptionsfähigkeit des lockern Materials für Gase und Wasser eine grosse Fruchtbarkeit. Allein dieselbe reicht für sich allein nicht hin; es muss ihr günstige Bewässerung zur Seite stehen, um die pflanzennährenden Eigenschaften zur Geltung kommen zu lassen. Lagern die Tuffe in grösserer Mächtigkeit und liegt der Wasserabzug in tief eingeschnittenen Rissen, wie es in einer gewissen Höhenstufe der Aschenkegel der Fall zu sein pflegt, so sinkt das Regenwasser schnell ein, und es gedeiht nur eine Vegetation von Steppengräsern, selbst in so feuchtem und fruchtbarem Klima, wie es in Java und am Fudjiyama vorwaltet. Tiefer hinab an der Grenze gegen die flache Umrandungszone der Aschenkegel ist das Gefälle weit genug vermindert, dass die Gewässer in seichten Furchen rasch hinfliessen, ohne zu erodieren und ohne abzulagern; in noch weiterm Umkreise ist die Neigung so gering, dass die Bäche ablagern und über ihr Ufer treten. In dieser Zone ist Grundwasser in mässiger Tiefe unter dem Boden reichlich vorhanden. Dichter Graswuchs scheint unter natürlichen Verhältnissen die vorherrschende Bekleidung der Oberfläche zu sein. Der Wald bedeckt alte Lavaströme, einzeln aufragende Kegel und gewisse Teile der Auswurfsmassen. Die Kultur, welche in dem Bereiche der erodierenden Wasserbäche eine günstige Stätte nur sporadisch findet, verwandelt dieses abgeflachte Land um den Fuss der Vulkane in einen reichen Garten. Die von dem dunklen Boden schnell aufgenommene Wärme wird durch den reichlich sich bildenden Humus festgehalten.

Gänzlich hiervon verschieden sind die Zersetzungsprodukte der festen Massen vulkanischer Gesteine und der im Aufbaue der vulkanischen Gebirge eine hervorragende Stelle einnehmenden groben Tuffkonglomerate. Besonders die letzteren ermöglichen eine ausgiebige Verwitterung. Thonige Boden von brauner

Farbe in den gemässigten, von braunroter Farbe in den feuchten Teilen der heissen Zone sind das Ergebnis derselben. Sie sind für Waldvegetation geeignet. Die dichten Wälder der Hauptmasse der ungarisch-siebenbürgischen vulkanischen Gebirge, sowie der javanischen Vulkane, des Vogelsgebirges und der Rhön geben dafür den ebenso aus zahllosen anderen Beispielen zu entnehmenden Beweis. Aber vielfache Unterschiede betreffs der Bodenbildung bestehen bei den einzelnen Gesteinen mit ihrer von hohem bis zu niederm Kieselsäuregehalte schwankenden Zusammensetzung, nicht minder bei dem gleichen Gesteine unter verschiedenen klimatischen Bedingungen. Material zu vergleichenden Studien hierüber kann von Reisenden beigebracht werden.

14) Löss und äolische Aufschüttungen überhaupt. § 215. — Der Löss gehört zu den bemerkenswertesten unter den regional verbreiteten Bodenarten. Er scheint auf die gemässigten Zonen beschränkt zu sein, findet sich aber in diesen weit verbreitet und zeichnet sich einerseits dadurch aus, dass er überall, wo die Verhältnisse seine typische Ausbildung gestattet haben, die gleichen Eigenschaften besitzt und in seiner allgemeinen Verbreitung weder durch die Meereshöhe, noch durch die Höhe über dem Boden der Flussthäler beschränkt ist. Umsomehr sollten diejenigen Fälle beachtet werden, wo auf einem (wohl stets räumlich engbegrenzten) Gebiete solche Schranken in seinem Auftreten festgestellt werden können. Der Zusammensetzung nach als ein kalkreicher Lehm, mit dem er auch die gelbbraune Farbe teilt, zu bezeichnen, unterscheidet er sich doch von dem Gehängelehme in sehr wesentlicher Weise durch ausgezeichnete Porosität und das Auftreten feiner, an verzweigte Wurzeln, besonders von Gräsern, erinnernder Kanäle. Infolgedessen trägt er keine stehenden Gewässer; er saugt das Regenwasser auf und nimmt hygroskopisches Wasser aus der feuchten Atmosphäre auf. Es giebt Quellen an der Grenzfläche seiner Unterlage, aber nicht innerhalb seiner Masse. Er ist ungeschichtet, und die senkrechten Röhrchen, welche häufig mit kohlensaurem Kalke inkrustiert sind, geben ihm die Tendenz zu vertikaler Absonderung, insbesondere zur Ablösung senkrecht stehender, etwas schaliger Schollen, wenn hohe, frei anstehende Wände von Löss durch fliessendes Wasser unterhöhlt werden. Die Festigkeit ist hinreichend, dass senkrechte und selbst überhängende Wände, wenn keine Störung erfolgt, sich ebenso wie

grosse gewölbte Räume durch lange Zeit erhalten. Dennoch ist der Löss so mürbe, dass solche Wände, wo sie den Abfall einzelner Stufen auf andere oder auf einen Thalboden vermitteln, in vielen Ländern zur Anlage menschlicher Wohnungen dienen, die mit Leichtigkeit in ihm ausgehöhlt werden. Die mürbe Beschaffenheit macht ihn zerreiblich. Das braungefärbte, thonig-kalkige Material lässt sich in die Poren der Haut einreiben; es bleiben dabei kleine Quarzkörner zurück, welche im typischen Lösse eine eckige, unregelmässige Gestalt haben. Ihr Durchmesser ist in einzelnen Fällen zu 0,05—0,025 mm bestimmt worden. Die Messungen sollten für den Löss verschiedener Gegenden wiederholt werden; es scheinen grössere Körner vorzukommen. Man erkennt im Lösse zahlreiche feine Glimmerblättchen, welche nicht horizontal und in Lagen geordnet, sondern in verschiedenen Stellungen unregelmässig verteilt sind. Ausser mergeligen Konkretionen von unregelmässiger Gestalt, welche auch in anderen Bodenarten vorkommen, enthält er in der Regel, wenigstens vereinzelt, oft aber massenhaft eingestreut, Gehäuse von Landschnecken. So zahlreich die Individuen sind, so gering ist die Artenzahl. Wasserschnecken sind äusserst sporadisch vorhanden. Dagegen kommen in manchen Gegenden Arten vor, welche, wie die im europäischen Lösse verbreitete *Succinea oblonga*, Feuchtigkeit zu lieben scheinen. Da auch die zartesten Gehäuse unzerbrochen sind, stammen sie von Tieren, welche an Ort und Stelle, wo man sie findet, und zwar wahrscheinlich meist in einiger Tiefe unter der Oberfläche, zu welcher sie sich während einer für ihre Ernährung ungünstigen Jahreszeit zurückgezogen hatten, gestorben sind. Ausserdem enthält der Löss Knochen von Landsäugetieren, und zwar von grabenden Steppentieren, von grasfressenden Huftieren und von Raubtieren. Die Skelette der grabenden Tiere kommen häufig vollkommen vor, die Knochen der grösseren sind in der Regel zerstreut, ganz wie man dies auf der Oberfläche der Steppen sieht.

Der Löss bedeckt gleichmässig ebene Flächen des Untergrundes. Ist dieser wellig hügelig, so füllt er die Vertiefungen aus, und zwar in solcher Gestalt, dass seine Oberfläche über die erodierten Teile hinweg ergänzt, entweder eine nach beiden Gehängen gleichmässig hinanziehende flache Mulde bildet oder sich nur an ein Gehänge in den höheren Teilen anlehnt und flach konkav nach dem tiefern Teile des gegenüberliegenden,

unbedeckt bleibenden Gehänges zieht. Die gleichmässige Oberfläche einer Lössmulde kann eine sehr geringe Breite haben, aber auch eine solche von 10, 20 und mehr Kilometern erreichen.

Am Boden einer solchen Mulde liegt der Löss selten dem unverritzten Gesteine auf, sondern ist gewöhnlich durch eine Schuttlage von ihm getrennt, auch ist der Boden häufig ein Wechsel von Berg und Thal; der Löss zeigt sich dann als das nivellierende Element. Wo er an die seitlichen Gehänge heranreicht, ist er mit Schutt von deren Gesteinen erfüllt, und einzelne Schuttlagen setzen, die konkave Gestalt der Oberfläche wiederholend, weit gegen das Innere der Lössmulden fort. Sie verursachen eine Unterbrechung in der Stetigkeit, welche, offenbar von einem klimatischen Ereignisse herrührend, auch jenseits der Grenzen der letzten Teile von Schutt in dem häufigen Vorkommen von Mergelknauern erkennbar ist. Der typische, durchaus gleichförmige Löss beginnt immer erst in einiger Entfernung von den einfassenden Gehängen. Wo daher, wie im mittlern Deutschland und Frankreich, der Löss auf unebenem Boden in geringer Mächtigkeit lagert, kommt er sehr selten rein vor, sondern ist von herzugespülten und vom Winde fortgetragenen Teilen des anstehenden Gesteines oder der anstehenden Deckgebilde, insbesondere von Sand, erfüllt. Die Mächtigkeit wechselt von dünnen Lagen, in denen er kaum erkennbar ist, zu mehreren hundert Metern.

Allenthalben ist der Löss ein sehr fruchtbarer Boden, besonders für Cerealien und Steppengräser. Lagert er in dünner Decke, so können Sträucher und Bäume auf ihm gedeihen, indem sie mit ihren Wurzeln solche Erdschichten erreichen, welche die Feuchtigkeit zurückzuhalten vermögen. Aber wo er mächtig ist und von tiefen, die Gewässer abziehenden Furchen durchzogen wird, sinkt das Regenwasser schnell hindurch und fliesst ab. Dem Getreide wird daher schon eine kurze Zeit der Dürre verhängnisvoll; mehr als bei anderen Bodenarten bedarf es eines während der Vegetationsperiode gleichmässig verteilten Regens. Bäume und Sträucher können unter solchen Umständen nicht fortkommen. Pflanzt und bewässert man sie, so senden sie ihre Wurzeln überraschend schnell senkrecht in die Tiefe hinab, aber wenn sie den Löss nicht zu durchdringen vermögen, werden sie durch Zeiten der Dürre getötet.

Alle beschriebenen Eigenschaften: die Zusammensetzung aus staubartig feinem, thonigem oder thonigkalkigem Gesteinsmateriale,

das Vorkommen des Quarzes in kantigen Körnern, die diffuse Lage der Glimmerblättchen, die Unabhängigkeit von der Meereshöhe und der Höhe über den Flussthälern, die Gleichförmigkeit über weite kontinentale Räume, das Vorhandensein von Wurzelkanälchen durch alle Tiefen hindurch, das Vorkommen der Gehäuse an Ort und Stelle gestorbener Landschnecken in grosser Menge und in allen Tiefen, sowie der Skelette und vereinzelten Knochen von Steppentieren und Raubtieren, die konkave Gestalt der Oberfläche, der Mangel an Schichtung — alles dies erweist zum Teile unmittelbar die vollkommene Analogie mit den auf Steppenboden sich bildenden äolischen Staubsedimenten, von denen vorher (§ 196) die Rede war; zum Teile sind es Eigenschaften, welche, obgleich an der Oberfläche der Steppen nicht erkennbar, doch als die notwendige Konsequenz des Wesens dieser Ablagerungen für deren tiefere Teile gefolgert werden müssen. Die äolischen Sedimente der Steppen sind Löss, und Löss ist durch Erosion aufgeschlossener Steppenboden. Diese Umwandlung ist in den Randgebieten abflussloser Steppenländer deutlich zu beobachten und sollte an solchen Stellen, wo die innere Struktur der Ausfüllungsmasse von Steppenmulden durch eingesenkte Kanäle ersichtlich ist, genauer untersucht werden. Es vollzieht sich dabei eine innere Umwandlung, indem die Salze aus dem Steppenboden ausgelaugt werden, sodass dessen fruchtbare Eigenschaften nun erst ganz zur Geltung kommen.

Es giebt Steppen von verschiedener Art. Sie finden sich, wo ein lockerer Boden unter dem Einflusse des Wechsels einer trockenen und einer feuchten Jahreszeit steht und die erstere zu lang ist, als dass Bäume sie überdauern könnten. Es kommt wenig darauf an, ob die Regenzeiten kürzer oder länger, die Niederschläge in ihnen reichlich oder gering seien. In einer Gegend bestimmt dürftiges Büschelgras, welches viel Trockenheit vertragen kann, den Charakter der Vegetation; in einer andern besteht diese aus hoch aufschiessenden, saftigen Gramineen verschiedener Gattungen. Es ist nicht wahrscheinlich, dass der Charakter des durch die äolischen Niederschläge gebildeten Bodens im Endresultate des einen und des andern extremen Falles wesentlich verschieden sein wird; denn die Art des zugeführten Materials und die zuführende Kraft bleiben sich gleich, ebenso die die innere Struktur bestimmenden tiefen Faserwurzeln. Dagegen werden die Schnecken und die Säugetiere.

deren Reste bei der Bodenbildung vergraben werden, verschieden sein. In einem Falle werden es solche Arten sein, welche bei einem geringen Grade von Feuchtigkeit in der bessern Jahreszeit existieren können; im andern solche, welche während der Dauer derselben stärkern und gleichmässig verteilten Regen verlangen. Je nachdem Steppen abflusslos sind oder von Flüssen durchzogen werden, kann ein Unterschied insofern obwalten, als die löslichen Salze bei den ersteren gänzlich im Boden bleiben, bei den letzteren aber zum Teile ausgelaugt werden. Auch auf den Gehalt an kohlensaurem Kalke kann dies einen Einfluss haben und damit auf die Erhaltung der Graswurzelkanäle.

Es würde von Wert sein, den Boden der verschiedenen Steppen zu untersuchen, und zwar nicht an der Oberfläche, wo der Einfluss der Vegetation grosse Unterschiede bedingt, sondern in derjenigen Tiefe, in welche nur noch die letzten Faserwurzeln dringen. Brunnengrabungen in der trockenen Jahreszeit würden hierzu die beste Gelegenheit geben. Wo tiefe Furchen den Lösscharakter des Steppenbodens aufschliessen und die eigentümliche Terrassenanordnung (§ 58) die Bewohner zur Aushöhlung von Wohnungen einladet, sind Aufschlüsse der tiefen Teile in Menge vorhanden.

§ 216. Lössähnliche Bodenarten. — Unter den dem Lösse verwandten Bodenarten, welche in grösserer Ausbreitung vorkommen, ist zuerst der Seelöss zu nennen, ein charakteristisches Gebilde in solchen Lössgegenden, welche durch das Eingraben von Erosionsfurchen aus abflusslos gewesenen Steppen entstanden sind. Er besteht aus den vormals in den Salzseen und Salzsümpfen gebildeten Niederschlägen. Solche Seen pflegen sehr seicht zu sein und zu Salztümpeln und Salzkrusten auszutrocknen. Mit dem Eintritte der Regen wälzen die Flüsse trübes Wasser herbei, welches aus dem feinsten ausgeschlemmten Lössmateriale besteht. Eine Schicht des letztern ist abgesetzt, ehe der Zufluss nachlässt oder aufhört. Dadurch entsteht geschichtetes, von verschiedenen Salzen in grosser Masse imprägniertes Erdreich. Gleichzeitig mit dem Wachsen der Steppe in der Umgebung schichten sich die Sedimente in dem See übereinander. Sie zeichnen sich deutlich, wenn später Erosion eintritt, fehlen aber selbstverständlich dort, wo Steppen zur Zeit ihres Wachstums von tief eingeschnittenen Flüssen durchzogen wurden, da an solchen Stellen die Bildung von Seen überhaupt nicht stattfinden konnte. Es giebt in den abflusslosen Ländern auch Seen, welche

im Laufe der Flüsse liegen und keine Sammelbecken für die Salze, wohl aber für die Sedimente sind. Hier findet gewöhnlich eine ausgedehnte Schilfvegetation statt, deren Wachstum die Schichtung undeutlich macht. Es entstehen Gebilde, die gleich dem Seelösse das Wasser an ihrer Oberfläche in Tümpeln stehen lassen, ohne den Salzreichtum von jenem zu besitzen.

Aehnliche Sedimente finden sich, wie bereits oben (S. 81) angedeutet worden ist, in den Deltas von Strömen, wo die jährlich zuwachsende Schlammdecke von den Wurzeln der mit jedem Jahre in ein höheres Niveau rückenden Vegetation so umgestaltet wird, dass die Schichtung ganz verloren gehen kann, und ein von Wurzelkanälen durchzogener, gleich dem Lösse aus dem Detritus verschiedener Gesteine hervorgegangener thoniger Boden das Endprodukt ist. Landschnecken, die auf der nie absterbenden Vegetation leben, können zusammen mit Süsswasserschnecken eingeschlossen werden. Auch diese Gebilde sollten eingehender als geschehen ist untersucht werden. Ihre Entstehung ist von der des Löss so verschieden, dass noch bestimmtere Unterschiede, als sie sich im äussern Charakter dokumentieren, in der Zusammensetzung und Struktur zu erweisen sein dürften.

Es ist nicht wahrscheinlich, dass durch Ablagerung aus Wasser, abgesehen von der eben genannten Art allmählicher, konstant durch Pflanzenwuchs modifizierter Anhäufung ein lössähnliches Gebilde entstehen kann. Bisher ist noch kaum eines beobachtet worden. Von um so grösserm Interesse wäre es, den Nachweis in irgend einem Falle zu führen. Es ist zwar hypothetisch angenommen worden, dass durch langsame Ablagerung thoniger Trüben in stehendem Wasser Löss entstehen könne, und diese Vermutung wird gegenwärtig noch oftmals wiederholt. Wo jedoch die Untersuchung möglich gewesen ist, hat es sich stets erweisen lassen, dass der Niederschlag aus Wasser mit einer Steigerung verbunden ist, indem die gröberen Stoffe, wenn irgend eine Kraft sie bis in die Mitte eines Beckens zu führen vermag, zuerst niederfallen und zusammen mit einem geringen Teile der nächst feineren eine Lage bilden, und auch der Rest sich in einzelnen, ineinander übergehenden Lagen absetzt. Die Glimmerblättchen würden erst in den oberen Lagen erscheinen. Periodische Zufuhr einer dem Lösse in Zusammensetzung entsprechenden Trübe würde weitern Schichtenabsatz, konstante Zufuhr aber, wie es bei den Seen (§ 84) erörtert wurde, den Niederschlag in Gestalt

eines Schuttkegels mit allmählich sich herabsenkender Oberfläche zur Folge haben. Nur auf dem Boden der Tiefsee scheinen Sedimente gebildet zu werden, welche hinsichtlich des homogenen, feinerdigen Charakters und des Mangels an Schichtung Analogie mit dem Lösse darbieten, wie an der weissen Schreibkreide ersichtlich ist; aber ihr fehlen die senkrechten Wurzelkanäle.

Die Frage ist von um so grösserer Tragweite, als der äolische Ursprung für den Löss einiger unter denjenigen Gebieten, in denen er eine grosse Verbreitung hat und vorzugsweise typisch aufzutreten scheint, insbesondere für den des Mississippi-Missouri-thales, von ausgezeichneten Forschern angezweifelt wird. Sollten hier in der That lössähnliche Gebilde existieren, für welche die Möglichkeit äolischer Entstehung auf Grund bündiger Argumente ausgeschlossen wäre, so würde noch die Frage zu erledigen sein, was aus den seit langen Perioden jährlich herzugeführten, auf der Steppe niedergefallenen und durch kein fliessendes Wasser fortgeführten Staubmassen geworden ist. Jedenfalls müssen sie eine Bodenschicht gebildet haben, welche die Vegetation in höheres Niveau brachten, und diese Schicht müsste sich von den tieferen durch verschiedene Struktur abheben.

Sollte der Löss des Mississippithales und einiger Gegenden Deutschlands wirklich aus Wasser niedergeschlagen sein, so würde ein von dem wahren Lösse genetisch verschiedenes Gebilde vorliegen, da die Unabhängigkeit von der Meereshöhe jene Entstehungsart für Asien, die meisten Teile Europas und, wie es scheint, auch für Südamerika ausschliesst. Es ist aber in sich äusserst unwahrscheinlich, dass ein so eigentümliches Gebilde in ganz gleicher Weise durch zwei so verschiedene Agentien, wie bewegtes Wasser und bewegteLuft, hervorgebracht werden kann.

Schwarzerde, Regur und ähnliche Bodenarten. — § 217.
Einige Steppentypen haben zur Unterlage einen Boden, welcher sich durch bedeutenden Humusgehalt in einer der Oberfläche zunächst gelegenen Schicht auszeichnet, während er tiefer hinab die Eigenschaften des Lösses besitzt. Am bekanntesten ist die Schwarzerde *(Tschornosjom)*, welche in den Flussgebieten des Dnjepr, des Don und der Wolga einen Raum von dem anderthalbfachen Areale von Frankreich und ausserdem noch grosse Strecken in dem Gebiete des Ob einnimmt. Sie scheint auch im Gebiete der Weichsel vorzukommen. Der Boden ist sehr feinerdig, besteht wesentlich aus thonigen Bestandteilen, enthält lösliche Salze in grösserer Menge als gewöhnlicher Ackerboden

und in den oberen Teilen von 5 bis zu 16 % organischer Substanz. Er überzieht den ebenflächig ausgebreiteten felsigen Untergrund in einer Mächtigkeit, welche bis 20 m steigt und bis 1 m herabgeht. Wo er im Norden endigt, beginnt die Region des Tafelland-Eluviums (§ 204). Die Flüsse sind in tiefen Kanälen eingeschnitten. Im urwüchsigen Zustande eine Gras- und Kräutersteppe mit reicher Beimengung von Zwiebelgewächsen, ist dies durch Kultur ein Land des Weizens geworden. Früher wurde der Boden für einen Absatz aus Meerwasser oder Süsswasser gehalten, doch wird jetzt der äolische Ursprung kaum noch bezweifelt. Die schwarze Färbung der Oberfläche weicht der Lössfarbe in der Tiefe. Mit der erstern ist ein fettiger, mit der letztern ein mürber, poröser Zusammenhalt verbunden.

Ein ähnliches Gebilde ist die Schwarzerde, welche, auch *Regur* oder *Cottonsoil* genannt, den dritten Teil des südlichen Indien bedeckt. Auch sie ist ein feinerdiger, in der obern Schicht von 6—10 Fuss Mächtigkeit schwarzer, darunter braungefärbter, von Kieseln und gröberen Einschlüssen mit Ausnahme von Mergelknauern (Kunkur genannt) gänzlich freier Boden, welcher im unkultivierten Zustande lockerstehende Gräser von 3—5 Fuss Höhe trägt und dem Baumwuchse abhold ist, unter Kultur hingegen sich besonders für die Pflanzung der Baumwolle eignet. Die schwarze Oberflächenschicht enthält 8—9 % organischer Bestandteile, giebt fortdauernd Ernten ohne Dünger, ist zäh und klebrig, in der trockenen Jahreszeit rissig; die braune Erde der Tiefe scheint sich vom Lösse nicht zu unterscheiden. Die Verbreitung folgt einem Gürtel, welcher nicht nur überhaupt in Anbetracht des tropischen Klimas wenig Regen (unter 1200 mm) erhält, sondern auch mit dem südlichen Russland die Eigenschaft des Wechsels einer nassen und einer trockenen Jahreszeit teilt. Der Regur überzieht gleichmässig die verschiedensten Gesteine, wie Gneis und „Trapp“. Die Ansicht, dass er ein Eluvialgebilde sei, musste aus diesem Grunde ebenso verlassen werden, wie aus anderen Erwägungen seine Erklärung als ein zersetzter Basalt, als ein Meeresgebilde und als ein Absatz aus Süsswasser. Die Analogie mit anderen Bodenarten, welche, mit Ausnahme des Humusgehaltes in der Oberflächenschicht, denselben Charakter haben, macht es zweifellos, dass auch der Regur ein äolisches Gebilde ist.

In beiden genannten Fällen sind die Bodenarten und ihr Vorkommen noch genauer zu erforschen; insbesondere sollte

untersucht werden, welche Ursachen der Humusbildung zu Grunde liegen. In den russischen Steppen wird im Frühjahre der Boden mit dem Schmelzwasser einer dünnen Schneedecke getränkt; die Hauptregen fallen im Frühsommer, dann wird es trocken.

Es giebt andere Länder, welche mit Steppen bekleidet sind und wahrscheinlich äolischen Boden besitzen. Dahin gehören die Grasflächen und Parklandschaften der Mandschurei und des Amurgebietes, die Savannen im nordöstlichen Südamerika, die nördlichen Teile des Stromgebietes des Paraguay und Paraná, insbesondere die Ebenen des Gran Chaco und andere Gegenden. Es lässt sich nicht bezweifeln, dass die klimatischen Unterschiede hier manche Unterschiede des Bodencharakters zur Folge haben werden; aber eine äolisch gebildete, dem Lösse oder Regur im wesentlichen entsprechende Deckschicht wird in den genannten Fällen selten fehlen.

§ 218. Aeolische Bodenkrumen. — Obwohl der Löss im mittlern Europa nach Bodencharakter, organischen Einschlüssen und Verbreitungsart alle Eigenschaften eines äolischen Gebildes besitzt und dadurch das ehemalige, durch die Tierwelt bestätigte Steppenklima bezeugt, bieten doch die gegenwärtigen klimatischen Verhältnisse infolge der gleichmässigen Verteilung der Niederschläge sehr geringe Gelegenheit für äolische Bildungen. Allein sie fehlen nicht. Die oberste Bodenschicht sollte vielfach auf die Art ihrer Entstehung geprüft werden. Wo Glacialschutt oder verwittertes Gestein die Unterlage der Ackerkrume bildet, da kann diese aus der Zersetzung jener allein entstanden sein. Anders ist es, wo ein welliger Untergrund von reinem Sande oder Kiese, oder von einem nicht zersetzbaren Gesteine, wie Thonschiefer, auch auf den erhabenen, die Zufuhr von Bestandteilen durch fliessendes Wasser ausschliessenden Teilen eine unter dem Pfluge stehende, humushaltige Ackerkrume trägt. Dieselbe hat häufig eine über weite Strecken gleichbleibende Mächtigkeit von kaum einem Fuss und hebt sich scharf gegen den Kies oder Sand oder gegen das Gestein ab. Dies ist das weitverbreitete Aequivalent der früher (§ 196) bezeichneten Erde der alten Gemäuer: die durch äolisches Herbeitragen von Bodenbestandteilen gebildete Krume. Jeder Regen schlägt aus der Atmosphäre neues Material nieder, welches von der Vegetation, nachdem sie einmal befestigt ist, zurückbehalten wird. Wie auf den Höhen alter Sanddünen, so wächst der Boden in den Wäldern

und auf den Wiesen unserer Gegenden durch äolische Zufuhr. Aber seitdem der Pflug durch den Boden zieht, ist die Verteilung ungleichmässig geworden. Dieses Wachsen geschieht langsam, und der Boden zeigt nicht die Eigenschaften des Lösses; denn feuchtes Klima und Vegetation modifizieren ihn in ähnlicher Weise wie die Oberflächenteile des Regur.

Es fehlt an Beobachtungen über das Wachsen des Bodens in unseren Gegenden. Wer sie im Auge hat, dem werden sich Merkzeichen darbieten. Man sollte die Untersuchung aber auf solche Orte beschränken, an denen die Zufuhr durch Wasser ausgeschlossen ist.

Der Thonboden im allgemeinen.

§ 219. Der wichtigste Bestandteil des Vegetationsbodens überhaupt sind die Thonsubstanzen, d. i. die durch kohlensäurehaltige Wasser nicht weiter zersetzbaren Rückstände thonerdiger Silikate. Sie treten in grossen Massen fast rein auf und sind von verschiedener Farbe, welche wesentlich von der Art der Oxydation des selten fehlenden Eisengehaltes abhängt. Die unter Wasser abgelagerten, nicht nachträglich höher oxydierten Thone sind blau oder weiss. Braungelbe Farbe ist dem Gehängelehme und Lösse eigen, sowie dem aus ihnen entstehenden Schwemmboden, rote dem Laterite und den aus der Zerstörung roter Sandsteine und Schiefer hervorgehenden Bodenarten. Der Thon saugt Wasser begierig auf und wird dadurch knetbar und plastisch. Beim Austrocknen wird er rissig und umgiebt die Pflanzenwurzeln mit einer harten, sie leicht tödtenden Rinde. Durch Frost wird er aufgelockert. Selbst unfähig, die Pflanzen zu ernähren, speichert er die Nährstoffe für dieselben auf. Er absorbiert Gase, besonders Kohlensäure, Ammoniak und Schwefelwasserstoff; ihre Aufnahme wird durch die Gegenwart von Eisenoxydhydrat begünstigt. Auch Salzlösungen nimmt er auf, und die Salze können sich in ihm gegenseitig zersetzen. Alle diese Eigenschaften werden im strukturlosen Lehme erhöht, wenn er bis zu einem gewissen Grade durch Beimengung fremder Bestandteile gelockert wird. Sand, feines Kieselmehl, kohlensaurer Kalk, Eisenoxydhydrat, Eisenoxyd, Gips wirken in dieser Richtung; in höherm Grade thut dies die Zersetzung beigemengter Teile von feldspatigen Gesteinen, welche gleichzeitig mineralische Nährstoffe liefern. Als wichtigste Beimengung aber ist der Humus erkannt worden, indem er die Absorption der Gase, das Festhalten von Wasser

und die Zersetzungsvorgänge befördert. Die Kultur ist bestrebt, die Auflockerung und Porosität des humushaltigen Thonbodens zu erhöhen; dies ist einer der Zwecke der Zufuhr von Strohdünger und auflockerndem mineralischen Dünger. Der Löss besitzt die angestrebten Eigenschaften selbst in hohem, zum Teile durch die Kultur kaum erreichbarem Masse.

Bei der Untersuchung der verschiedenen Bodenarten, gleich viel ob sie spontane Vegetation tragen oder zu Kulturzwecken verwendet werden, ist die Wasserkapazität zu berücksichtigen; sie ist von dem Volumen und der Verteilungsart der Hohlräume abhängig, welche mit Wasser erfüllt werden können. Man bestimmt die Menge Wasser, welche der Boden einerseits durch Aufsaugen, andererseits durch Aufgiessen aufnehmen kann, ohne dass es in Tropfen abfliesst. Sie schwankt von 20—70 %. Hohe Wasserkapazität ist günstig für warme Gegenden mit geringer mittlerer Regenmenge, niedrige für Länder, welche im Verhältnisse zur Temperatur reiche Niederschläge erhalten. Der Quarzsand fasst am wenigsten, der humusreiche Boden am meisten Wasser. Die Fähigkeit des Bodens, mittelst der Eigenschaft der Kapillarität von unten Wasser aufzusaugen, ist nicht von Bedeutung, wo das Grundwasser tief liegt, kann aber sehr wichtig sein, wo dieses in geringer Tiefe sich befindet, wo also eine trockene lockere Erde auf nassem Untergrunde ruht (s. § 118). Es beruhen hierauf manche beachtenswerte Erscheinungen in lössbedeckten Ländern. Wo diese Bodenart in grosser Mächtigkeit lagert, saugt sie, wie erwähnt, das Regenwasser ein, und es entweicht bald in die Tiefe. Während daher solche Jahre, in denen häufig Regen fällt, sehr reiche Ernten bringen, reicht eine kurze Dürre hin, um die Saaten zu vernichten. Wo der Löss aber eine geringe Mächtigkeit hat, kann er Trockenheit weit besser ertragen, da er das Wasser von seiner Unterlage aufsaugt. Dass in manchen Fällen die Salze, welche in den tieferen Teilen des Lösses angehäuft sind, verhängnisvoll werden können, wurde in § 52 an den Beispielen der Ufer des Gelben Flusses bei Ning-hsia-fu und der mit Efflorescenzen von kohlensaurem Natron, schwefelsaurem Natron und Kochsalz bedeckten *Usar* im Flachlande der Gegend von Delhi erläutert.

Von Interesse würden auch in manchen Gegenden Beobachtungen über das hygroskopische Wasser sein, welches der poröse Boden zum Teile der Luft entnimmt. Zur Nachtzeit

findet Verdichtung des Wasserdampfes mit Freiwerden von Wärme statt, zur Tageszeit Verdunstung mit Wärmeverlust. Diese Eigenschaft des porösen Bodens ist zwar bei mangelndem Regen überall von Wichtigkeit, da sie das Wachstum der Pflanzen erhält, dürfte aber an Interesse in manchen Gegenden gewinnen, wo die Vegetation sich vor dem Eintreten der Regen zu entwickeln beginnt, wie dies vom südlichen Arabien berichtet wird. Der Einfluss des Seewindes übt wahrscheinlich häufiger eine derartige Wirkung.

C. Umänderungen des Bodens.

§ 220. Der Umänderungen, welche der einmal gebildete Boden weiterhin durch Verwitterung, Lösung, Seigerung und Umlagerung mittelst spülenden Wassers, fliessenden Wassers und strömender Luft, sowie durch Frost und durch Vegetation erleidet, ist mehrfach gedacht worden. Es möge hier noch auf einige besondere Agentien, welche Umänderungen herbeiführen können, aufmerksam gemacht werden.

Umänderung durch tierische Thätigkeit. — Grössere Tiere führen direkt wenig Umgestaltung herbei. Indirekt befördern sie dieselbe in mancherlei Weise, z. B. durch Auflockerung des trockenen Bodens, wodurch dem Winde ein leichter Angriff geboten wird. Kleine Tiere üben weit grössern, aber wesentlich, wie die Ameisen, auch nur mittelbaren Einfluss aus. Als unmittelbar den Boden umgestaltend sind nur die Regenwürmer durch Darwin bekannt geworden (s. § 35). Sie sind seitdem Gegenstand vielfacher Untersuchung. Um dieselben zweckmässig auszuführen, sollte man die scharfsinnigen Methoden der Beobachtung der Originalabhandlung entnehmen.

Verschiebung des Bodens durch Frost. — Neben der Auflockerung (§ 41) kann der Boden durch oftmals wiederholtes Gefrieren des von ihm aufgesogenen Wassers, wenn er auf geneigter Felsunterlage ruht, eine langsame Verschiebung seiner ganzen Masse nach abwärts erleiden, wodurch an seiner Stelle der Gesteinsboden kahl zu Tage tritt. Die auf ihm wachsende Gras- und Strauchvegetation wird dann mit fortbewegt. Beobachtungen darüber sind z. B. auf den Falklandsinseln gemacht worden. In Hochgebirgen, in Skandinavien und im nordwestlichen Amerika dürfte sich Gelegenheit zu ihrer Bestätigung bieten.

Umänderungen durch menschliche Thätigkeit. — Der Einfluss des Menschen auf die Umgestaltung des Charakters der Erdoberfläche ist Gegenstand eines so vielseitigen und so weiten Forschungsgebietes, dass es dem Scharfblicke des einzelnen überlassen bleiben muss, die bekannteren Gesichtspunkte anzuwenden und je nach dem Lande, in welchem die Untersuchung geschieht, neue ausfindig zu machen. Es würde zu weit führen, das Thema eingehend zu behandeln. Einige Bemerkungen mögen genügen.

Die erste Thätigkeit des Ansiedlers in naturwüchsigen Gegenden besteht, nachdem die weniger günstigen Stellen besetzt sind, in der Verminderung des Waldbestandes, welche, bis zu einem gewissen Grade betrieben, segensreich sein, aber, in Waldverwüstung ausartend, die unheilvollsten Folgen für ein Land bringen kann. Es ist in § 30 auf die allgemeine Bedeutung des Pflanzenwuchses für die klimatischen Verhältnisse, in § 71 auf den mechanischen Schutz, welchen die Vegetation dem Boden vor Erosion durch Wasser und Wind gewährt, und in § 92 auf die Beziehungen der in längeren Perioden, zum Teile vermittelst der Vegetation, stattfindenden Wandlungen in der umgestaltenden Thätigkeit der fliessenden Gewässer hingewiesen worden. Die Bedeutung des Waldes für den Boden geht daraus deutlich hervor. Die Verminderung seines Bestandes in den Kulturländern mag in ehemaligen Zeiten, als die Transportmittel unvollkommen waren, eine sehr langsame, mit der Ausbreitung dichter ackerbauender Bevölkerung schritthaltende gewesen sein und erst, nachdem sie eine gewisse Grenze überschritten hatte, an einzelnen Orten Nachteil gebracht haben. Im Mittelalter war es ähnlich; doch mögen im Altertume und Mittelalter zu Zeiten verhängnisvolle Verwüstungen grösserer Strecken von der Art vorgenommen worden sein, wie die Venezianer sie in den Eichenwäldern des Karst zum Zwecke des Schiffbaues und der Gewinnung von Pfählen zu Unterbauten in ihren Lagunen ausgeführt haben. Mit der Verbesserung der Transportmittel im Laufe des gegenwärtigen Jahrhunderts ist der Massstab der Verwüstung schnell gewachsen, und er dürfte jetzt den höchsten Grad in manchen Teilen von Nordamerika erreichen. Angesichts der Aenderungen, welche nachweislich im Waldbestande einzelner Erdräume stattgefunden haben, ist man oft geneigt, einen Rückschluss auf das ehemalige Vorhandensein von Wäldern in vielen von denjenigen Gebieten, wo sie jetzt fehlen, zu machen.

Hierbei hat man sich vor vorschnellen Schlüssen zu hüten. Salzhaltiger Steppenboden ist überhaupt für Waldwuchs ungeeignet und dürfte, wo er sich findet, seit dem Dasein des ackerbautreibenden und den Wald niederschlagenden Menschen nie mit solchem bestanden gewesen sein. Dasselbe gilt von einem in grösserer Mächtigkeit aufgeschichteten lockern und sehr wasserdurchlässigen Boden, falls derselbe von tief eingeschnittenen Abzugsrinnen durchzogen wird und jährlich eine gewisse Zeit vollkommener Trockenheit zu erleiden hat.

Die Folgen des vollständigen Vernichtens von Waldstrecken für die Umgestaltung des Bodens sind zum Teile solche, welche unter gewissen Bedingungen überall eintreten, zum Teil solche, welche je nach den klimatischen Verhältnissen in einzelnen Ländern verschieden sein können. Nahezu gleichartig sind die Folgen allenthalben, wo von der Waldvegetation mühsam in Besitz genommene steile Berggehänge derselben beraubt werden, indem der Boden, dem der Halt entzogen ist, durch Einfluss des Spülwassers und des Durchtränkens mit Feuchtigkeit abrutscht und abstürzt, um die oberen Gehänge kahl zurückzulassen und die Thalgründe mit Schutt zu bedecken. Von letzterm werden den Strömen grössere Massen geboten, als sie bewältigen können. Sie verteilen sie weiter abwärts über die Thäler und über schwemmen damit die Ebene. Jahreszeiten mit aussergewöhnlich starken Regenfällen wirken am meisten in der Richtung der Verbreitung des Schuttes über grosse, vorher der Kultur zugänglich gewesene Strecken. Kahle Berglehnen mit Schutthalden und öde Thalgründe sind die Folge. Die Thäler der venezianischen und der französischen Alpen geben die sprechendsten Belege. — Zunächst sind es Tafelländer und weite Flachländer, welche wahrscheinlich unter allen Umständen durch übermässige Entwaldung nachteilig beeinflusst werden, weil ihnen dadurch einer der wenigen den Regen begünstigenden Faktoren, welche bei ihnen vorhanden sind, genommen wird. Die Wolkenbildung wird vermindert, die Insolation und Ausstrahlung erhöht, die Gleichmässigkeit der Niederschläge selbst dann, wenn solche Gegenden von feuchten Winden bestrichen werden, beeinträchtigt.

Weitaus in den meisten Erdräumen richten sich die Folgen der Waldvernichtung nach den vorhandenen klimatischen Bedingungen. Wenn es daher auch in einem einzelnen Falle gelingen sollte, zu erweisen, bis zu welchem Grade der Entwaldung die nützlichen Einflüsse vorwalten und an welchem

Punkte die schädlichen beginnen, so würde das Resultat doch keineswegs allgemein anwendbar sein. Der Wendepunkt würde in Gegenden mit trockenen Sommern, wie die Mittelmeerländer und Kalifornien, ebenso wie in solchen, welche, wie die iberische Halbinsel, infolge ihrer Lage selbständige Centren der meteorologischen Vorgänge sind, viel früher eintreten als in jenen Landstrichen, welchen ihre Lage zu grossen Kontinentalgebieten regelmässig eintretende reichliche Sommerregen bringt, und in welchen die örtlichen Einflüsse auf meteorologische Vorgänge von verschwindender Bedeutung im Vergleiche mit den kontinentalen Einflüssen sind. Aus diesen Gründen empfinden das südliche China und die britischen Inseln die Nachteile einer früh geschehenen Entwaldung nur wenig, während sie in Spanien verhängnisvoll gewesen sind. Die Gesamtmenge des jährlichen Niederschlages unterliegt wahrscheinlich keiner Aenderung, und dort, wo feuchte Seewinde während der Vegetationsperiode beständig oder sehr vorwaltend wehen, wird auch die Gleichmässigkeit der zeitlichen Verteilung wenig gestört. Ungünstig gestellt sind dagegen diejenigen Länder, in welchen die Wälder die Bestimmung haben, die Niederschläge, welche ausserhalb der Vegetationsperiode fielen, für diese aufzuspeichern. Hier werden, wie in der Ebene, durch Vernichtung der Wälder Insolation und Wärmeausstrahlung vermehrt. Es bilden sich grössere Differenzierungen in den atmosphärischen Bewegungen. Feuchte Luft wird trocken über den kahlen Stellen; ihre Feuchtigkeit kondensiert sich über den waldbedeckten Strecken. Die Verteilung der Niederschläge wird unregelmässiger und spasmodischer, die Regengüsse werden mehr vereinzelt, dabei heftiger und leicht von Hagelfällen begleitet. Zeiten der Dürre halten länger an und führen ohne fernere menschliche Beihülfe zu weiterer Vertilgung der Vegetation. Das Vernichtungswerk und damit die Umgestaltung des Bodens setzen sich von selbst fort. Wo die Bodenformen hügelig sind und das Gestein von einer in langen Zeiträumen durch Zersetzung oder äolische Aufschüttung gebildeten Decke fruchtbaren Erdreiches bedeckt ist, wird der von Wald entblösste Boden der höheren und geneigten Teile den mechanischen Angriffen von Wasser und Wind ausgesetzt, besonders dort, wo, wie in den östlichen Randgegenden des adriatischen Meeres, sommerliche Dürre herrscht. Ein Teil wird in den Vertiefungen zusammengespült und kann hier auf eng begrenzten Gebieten die Fruchtbarkeit

vermehren, ein anderer wird durch trockene Stürme verweht. Wie im Karst durch Zusammenspülen und Verwehen der Decke von Zersetzungsrückständen des Kalksteines eine Landschaft von ödem nackten Fels mit oasenartig eingeschlossenen, sehr fruchtbaren Kesselböden entstanden ist, so wird in anderen Gegenden die die Sand- und Kieshügel überziehende, äolisch gebildete dünne Decke fruchtbaren Bodens (§ 218) hinweggenommen, der Sand blossgelegt, verweht und hinabgespült.

In wenigen Fällen kann man die Zeugnisse aus der Litteratur zur Beurteilung der Folgen der Entwaldung mit Sicherheit anwenden. Man hat z. B. aus den Beschreibungen, welche die Alten von den an das Mittelmeer grenzenden alten Kulturländern geben, den Mangel eines verderblichen Einflusses ableiten wollen, indem in ihnen bereits von grosser Trockenheit und Oede einzelner Landstriche die Rede sei. Es ist jedoch einerseits in Betracht zu ziehen, dass die Beschreibungen solcher Länder, wie Syrien, Kleinasien, Nordwestafrika, insbesondere diejenige von Strabo, welche die eingehendste ist, aus einer verhältnismässig späten Zeit herrühren, als wahrscheinlich die Waldvernichtung bereits ihren heutigen Grad nahezu, stellenweise vielleicht ganz erreicht hatte; andererseits, dass die ungünstige Verteilung der Niederschläge nach Jahreszeiten selbstverständlich bereits seit vorhistorischen Zeiten bestand, da sie eine Folge der planetarischen Luftcirkulation ist.

Wenn in dieser Weise einzelne Länder nur unwesentlich, andere in sehr erheblichem Grade von der Waldvernichtung beeinflusst werden, nehmen noch andere eine gewisse Mittelstellung ein. Es sind diejenigen, welche in der Vegetationsperiode weniger beständige Regen erhalten und während derselben durch kleine Verschiebungen in der Luftdruckverteilung einer längern Trockenheit ausgesetzt sein können. Dieselbe wird an ausgedehnteren kahlen Stellen intensiver sein, ihre Periode daselbst verlängert werden, und dies hat wiederum nachteiligen Einfluss auf die Umgebungen. Das nördliche China befindet sich in dieser Lage. Von manchen Sandhügeln Norddeutschlands ist nach der Entwaldung infolge desselben Einflusses die dünne Decke äolisch gebildeten Bodens durch Wind und heftige Regengüsse hinweggenommen worden, und aus der gleichen Ursache haben wahrscheinlich die Dünen der Gascogne ihre gefährlichen Wanderungen seit der Vernichtung ihres frühern Waldbestandes begonnen.

Es möge genügen, hier die Verschiedenheit des Verhältnisses anzudeuten. Das Problem ist von seiner Lösung noch weit entfernt und bedarf, um die Grundlage zu einer solchen zu erlangen, der Ansammlung zahlreicher Thatsachen, wie sie sich der Beobachtung des Reisenden darbieten.

Es ist nun weiter der Einfluss der Bodenkultur auf Umgestaltung des Bodens zu beachten. Zu den rohen und primitiven Kulturmethoden gehört das Abbrennen der Grasflächen, wodurch, wie es scheint, der Humus nicht vernichtet wird, wohl aber, wie in § 35 angedeutet, die wohlthätig wirkenden Regenwürmer allmählich vertilgt werden müssen. Das Abbrennen der Wälder, wie es in Hinterindien zum Zwecke der Erzielung einiger Ernten von Bergreis oder in Ceylon zu dem auf längere Dauer berechneten Zwecke der Kaffeekultur geschieht, dürfte auch nicht ohne Einfluss sein. Eine Aenderung muss sich in den Schwarzerdedistrikten des südlichen Russland vollziehen, wo der Boden nach einer kurzen Kulturperiode sich selbst überlassen wird und dann eine von der frühern verschiedene Vegetation hervorbringt. Es ist nicht bekannt, ob in diesem Falle, welcher nur als Typus zahlreicher analoger Fälle hier genannt werden mag, die Aenderung der Strukturverhältnisse des Bodens oder die Entziehung gewisser Bestandteile aus ihm durch das Fortschaffen der Getreideernten die Umgestaltung der Vegetationsbedingungen veranlasst. Es ist der Verwehung des gepflügten Bodens durch den Wind als eingreifend für solche Gegenden, in welchen die äolische Bewegung der Massen unter natürlichen Verhältnissen eine geringe Rolle spielt, gedacht worden. Wo die fruchtbare Bodendecke dünn ist, muss sie im Laufe der Zeit ganz entführt werden. — Solche Gegenden, welche seit Jahrtausenden unter Kultur gewesen sind, ohne eine Bodenzufuhr durch Ueberschwemmungswasser zu erfahren, sollten auf die Erschöpfung einzelner nährender Bestandteile geprüft werden. Dies gilt z. B. für gewisse fette Alluvialboden von China, welche ohne Düngung keine Erträge zu liefern vermögen.

Von Interesse für die Geschichte der Menschheit sind die Bodenänderungen, welche durch die Anlage von Berieselungsoasen in Ländern mit sehr trockenem Klima herbeigeführt werden. Centralasien, die östlichen und südlichen Randgebiete der turanischen Niederung, die Hochflächen Erans und einzelne Stellen in Syrien und Arabien geben dazu Gelegenheit. Die Oasen dieser Art beruhen in der Ableitung des Wassers der

aus den Gebirgen kommenden Ströme auf den wesentlich äolisch gebildeten Steppenboden und in der dadurch bewirkten Auslaugung der Salze aus diesem. Die Ströme, denen ein grosser Teil des Wassers entzogen wird, neigen in Anbetracht des weitern Wasserverlustes mittelst der Verdunstung und der Aufsaugung des Wassers durch den Boden zu frühem Versiegen. Während daher einerseits neue Flächen dem vegetationsbedeckten Boden hinzugefügt werden, wird der Wüstenbildung ein grösseres Feld bereitet. Die Wüste, nachdem sie einmal begonnen hat, schafft sich selbst die Bedingungen zu ihrem Anwachsen. Der Sand überflutet die Steppe, das Klima wird excessiver, die Verdunstung nimmt zu und allmählich wälzt sich der Sand über die Fruchtfelder der Oasen. Diese Vorgänge, durch welche wahrscheinlich eine Reihe ehemals blühender Oasen in den genannten Gegenden teils eine Einschränkung, teils völligen Untergang gefunden haben, sind um so sorgfältiger zu prüfen, als auch Argumente gegen diese Ansicht erbracht worden sind. Eine Klarstellung könnte dazu beitragen, die Ursachen zu erkennen, welche zu einer frühen Kulturentwicklung in den Ländern des Amu und Syr und zu ihrem weit zurückliegenden Verlassen durch die Wanderungen der Völker geführt haben.

D. Aufeinanderfolge verschiedener Bodenarten und organische Reste in ihnen.

§ 221. Die bisherigen Bemerkungen betrafen die Bodenarten im einzelnen. Die meisten der letzteren erwiesen sich als Produkte von Vorgängen, welche, gleichviel ob sie in Wärme, Feuchtigkeit, Trockenheit, Frost, fliessendem Wasser, bewegter Luft oder Vegetation ihre Ursache haben mögen, in klimatischen Zuständen beruhen und durch die Bodengestalt und Gesteinsbeschaffenheit der Erdoberfläche modifiziert werden, während einige infolge einer von der jetzigen abweichenden Verteilung von Meer und Land und noch andere durch Ueberschüttung eines Landstriches mittelst zertrümmerten vulkanischen Gesteinsmaterials entstanden sind. Daher giebt sich der zeitliche Wechsel der Zustände auf der Erde in dem Wechsel der nacheinander gebildeten und übereinander gelagerten Bodenarten zu erkennen. Sie sind die Denkmale, an deren Hand im Vereine mit den früher erörterten Wirkungen der einzelnen äusserlich arbeitenden Agentien die Geschichte eines Erdraumes seit der Zeit, als sein Felsbau zuerst einen Teil der Landfläche

bildete, erkannt werden kann. Dabei ist aber den fehlenden Gliedern der Reihe, deren Spuren durch jene bewegenden Agentien vertilgt worden sind, Rechnung zu tragen. Die Materialien zu dieser Geschichte zu sammeln, darf der Reisende überall als eine seiner wesentlichen Aufgaben betrachten, und als eine solche, zu deren Lösung es nirgends an Anhalt gebricht. Es gehört dazu, ausser der Untersuchung der Beschaffenheit und Lagerung, die Erforschung der organischen Reste in den einzelnen Bodenarten, soweit deren vorhanden sind. In ihnen prägt sich nicht nur die allmähliche Entwicklung der Flora und Fauna eines Erdraumes aus, lassen sich nicht nur die einzelnen Phasen, welche sie durchlaufen haben, und die einzelnen Wechsel, welche in den Organismen stattgefunden haben, erkennen, sondern jede Fauna und jede Flora spiegelt auch eine gewisse Summe von Existenzbedingungen ab. Unter diesen stehen wiederum die klimatischen obenan. Der Boden schliesst den Ring, insofern er zu den Existenzbedingungen gehört und doch zum grössten Teile eine Funktion klimatischer Agentien ist.

Neben den Resten von Pflanzen und Tieren sind überall diejenigen des Menschen, seiner Thätigkeit, seiner Wohnstätten und seiner Kultur zu berücksichtigen. Die Bedingungen, unter welchen er existierte, werden durch diejenigen angezeigt, welche für jene anderen Organismen massgebend waren. Daher ist seinem Zusammenvorkommen mit bestimmten Typen derselben besondere Beachtung zu zollen. Nicht genug aber muss die grösste Sorgfalt in dem Auseinanderhalten der einzelnen Bodenschichten und Bodenarten mit ihren biologischen und menschlichen Ueberresten empfohlen werden. Es wurde dies bereits bei der Erforschung der Ablagerungen in Höhlen erwähnt, wo es sich zum Teile um äusserst dünne Schichten handelt, welche eine ganz andere Lebewelt umschliessen, als die darüber oder darunter folgenden.

Unter den Wechseln, welche vorkommen, sind einzelne genannt worden, wie die Ueberlagerung von Sand und Kies durch eine äolische Schicht oder diejenige von Kulturboden durch Sand. Es mögen hier noch einige Erwähnung finden. Im mittlern China wird der Löss durch Laterit unterlagert; dies deutet auf feuchtes tropisches Klima, welches dem Steppenklima voranging, und dem letztern entspricht die Jetztzeit dort nicht mehr. Sande mit recenten Meereskonsylien werden nicht selten durch thonige Schichten mit Süsswasserschnecken und

Resten von Landpflanzen überlagert, denen dann wieder eine äolische Decke folgt. Auf Schottermassen, die stark strömendes Wasser anzeigen, lagert Löss, dessen Bildung gerade dieses Agens vollkommen ausschliesst. Der Grundmoräne der ersten Eiszeit sind an vielen Stellen Norddeutschlands geschichtete Sande aufgelagert, denen eine zweite Grundmoräne folgt, und dieser lagern wiederum stellenweise andere Gebilde auf. Bemerkenswert sind die Ergebnisse, welche durch Steenstrup, Nathorst und Blytt aus übereinanderlagernden Torfmooren Dänemarks und Norwegens betreffs der nach der Eiszeit geschehenen Wandlungen gewonnen worden sind, indem in den tiefsten, dem Glacialschutte aufgelagerten Mooren eine Glacialflora, in den nächst höheren die Reste von Kieferwäldern, in noch höheren Eichen und Erlen gefunden wurden, denen in unserer Zeit die Buche gefolgt ist. Noch weitergehende Schlussfolgerungen über klimatische Wechsel im mittlern Europa ergaben die Arbeiten von Woldrich über die aufeinanderfolgenden Floren Böhmens und diejenigen von Nehring über den Wechsel der Faunen.

Diese Beispiele zeigen, wie sorgsam die Reste von Pflanzen und Tieren, ebenso wie diejenigen des Menschen, in aufeinanderfolgenden Tiefenstufen gesammelt werden müssen, auch dort, wo es sich um anscheinend ziemlich gleichförmige Ablagerungen handelt. Einen wichtigen Anhalt geben die Reste der Säugetiere. Wo sich Gelegenheit bietet, sie zu sammeln, sollte sie nie versäumt werden. Besonders ist auf Zähne zu achten, da sie zur Bestimmung genügen. Wo grosse Mengen von Säugetierskeletten zusammen getroffen werden, sollten die Umstände untersucht werden, welche zu ihrer Vernichtung und Erhaltung an derselben Stelle führten. Es ist für die Erklärung mancher derartiger Fälle ein Zusammenschwemmen durch Ströme angenommen worden. Eine noch häufigere Ursache dürfte das Versinken der Tiere im Schlamme gewesen sein. Man begegnet im nördlichen China im Ueberschwemmungsgebiete des Hwang-hŏ einzelnen ausgedehnten Stellen völliger Verebnung durch gänzlich kahlen und anscheinend trockenen Boden. Versucht man ihn zu betreten, so erweist er sich als ein zäher Brei, welcher aus den feinsten thonigen Bestandteilen des Lösses gebildet ist. Herden von Antilopen, Rindern und anderen grösseren Säugetieren würden ebenso wie der Mensch, wenn er sich darauf wagte, unrettbar versinken. Die durch Darwin bekannt gewordenen

Ansammlungen von Säugetierskeletten an der Blancabai (Argentinien) erinnern, ebenso wie diejenigen in Nebraska, auffallend an dieses Verhältnis. Beide Gegenden stehen in naher Beziehung zu Lössländern, und es erscheint nicht gewagt, für Nebraska die vormalige Existenz der für die Lössbildung und die fluviatile Erosion von Lössländern erforderlichen Bedingungen anzunehmen.

E. Typen der Erdräume nach dem Gesichtspunkte der Bodenbildung.

§ 222. Die vorhergehenden Betrachtungen hatten das Ziel, den Beobachter anzuleiten, den Erdboden als ein Produkt physischer, teils im Klima, teils in der Oberflächengestalt und der Gesteinsbeschaffenheit der Unterlage, teils in den Schwankungen zwischen Land und Meer und teils in der Fortbewegung fester Massen beruhender Vorgänge anzusehen und ihn von diesem Gesichtspunkte an jeder Erdstelle zu untersuchen, sowie in der vertikalen Aufeinanderfolge verschiedener Bodenarten die Anzeichen eines Wechsels der äusseren Bedingungen in der Zeit zu erblicken. Man kann nun nach demselben Prinzipe, wenn man es mit Rücksicht auf die horizontale Anordnung in der Gegenwart anwendet, Erdräume verschiedener Art unterscheiden. Wie im kleinen der gepflügte Acker vom Winde abgetragen und die fortgeführte Erde auf Wiesenflächen abgelagert wird und wie der Gebirgsbach aus einer Strecke der Ablation, einer solchen der Korrasion und des Transportes und einer dritten der Ablagerung besteht, so kann man im einzelnen vielerlei kleine Unterschiede zwischen nahe benachbarten Stellen festsetzen. Hier soll darauf nicht Bedacht genommen, sondern nur die Unterscheidung grosser Erdregionen in ihrem verschiedenen Verhalten ins Auge gefasst werden. Wenn wir dabei von der Vegetation absehen, so lassen sich die folgenden Typen aufstellen:

1) Regionen der autogenen Bodenbildung durch kumulative Gesteinszerstörung. (Eluvialregionen.)

Hierher gehören alle Erdräume, in welchen die fortschaffenden Agentien zu schwach sind, um die übermässige Anhäufung des autogen gebildeten Bodens zu hindern. Man kann unterscheiden:

a. Regionen der fortschreitenden Lateritbildung. Nach der obigen Darstellung sind hierher die

feuchten hügeligen Waldgegenden der Tropen grösstenteils zu rechnen.

b. Regionen der kumulativen lehmigen Zersetzung. Sie umfassen im wesentlichen die feuchten hügeligen Waldgegenden der gemässigten Zone.

c. Regionen des kumulativen Gebirgsschuttes. Es giebt zweierlei Erdräume, in welchen eine übermässige Anhäufung des an Ort und Stelle entstandenen Gesteinsschuttes stattfindet. Die eine sind die des Frostschuttes in den bergigen Gegenden hoher Breiten und in den hohen Gebirgen der gemässigten und tropischen Zone; zu den anderen gehören die Schuttbekleidungen der Steppengebirge.

d. Regionen des Tafelland-Eluviums. Hier beschränkt sich die Gesteinszerstörung auf eine oberflächliche Decke von geringer Mächtigkeit. In vegetationsbedeckten Gegenden sind die fortschaffenden Agentien von geringer Kraft; in Wüsten übt zwar der Wind eine bedeutende Wirkung der Ablation, der Korrasion und des Transportes aus, aber sie reicht häufig zur Entfernung der Decke nicht hin.

2) Regionen des Ebenmasses von Zerstörung und Fortschaffung.

Ueberall, wo die Produkte der Zerstörung nach kurzer Frist fortgeschafft werden, ist das Gesamtmass der Denudation am grössten, weil den Agentien der letztern fortdauernd neue Angriffsflächen dargeboten werden. Diese Bedingungen sind in wärmeren Gegenden am vollkommensten dort erfüllt, wo Regenreichtum, mässig steiles Gefälle und mässige Vegetation sich vereinigen. Wo Pflanzenwuchs und Bodenkrume fehlen, mangelt ein wesentlicher Hülfsfaktor der Zersetzung und Lockerung; sind beide zu reichlich vorhanden, so wirken sie der mechanischen Zerstörung entgegen. Ist das Gefäll zu gering, so findet Ablagerung und damit Stillstand der Erosion statt, ist es zu steil, so werden nackte Felsen geschaffen. Es gehören hierher im allgemeinen die grösseren Teile der Gebirge und der steileren Hügelländer.

3) Regionen der überwiegenden Denudation.

Wo die fortschaffenden Agentien so kräftig wirken, dass die bodenbildenden ihnen nicht zu folgen vermögen und eine Anhäufung von Erdreich nicht stattfinden kann, wird das kahle Gestein entblösst. Als bemerkenswerte Typen sind hervorzuheben:

a. Regionen der glacialen Denudation. Bei Erörterung der Ablation und Korrasion durch Eis (§§ 111, 112) ist des Abschleifens grosser Erdräume gedacht worden, insbesondere solcher, welche früher infolge langandauernder, kumulativer Zersetzung eine mächtige Decke gelockerten Materials getragen hatten. Die in der Glacialzeit gebildeten Schliffflächen sind zum Teile noch jetzt kahl, überhaupt durch Verwitterung meist wenig angegriffen, tragen aber infolge reicher Bewässerung und der mehr oder weniger sporadischen Verteilung von Resten der Grundmoräne, sowie infolge einer allgemeinen, wenn auch in äusserst geringem Masse stattfindenden äolischen Zufuhr von Boden oft eine Vegetationsdecke, die sich von Moospolstern zu Waldwuchs steigern kann.

b. Regionen der äolischen Denudation. Hierher gehören die vegetationslosen Gegenden, in denen der Wind das Gestein kahl zu fegen vermag, indem er alles feinere Material entführt und den festen Fels, ebenso wie alle grösseren Gesteinsstücke zurücklässt. Boden und Gehänge können dabei glatt geschliffen werden. Besondere vielgestaltige Bodenformen entstehen dort, wo vorher durch lange Zeit ein feuchtes Klima geherrscht hatte und die Tiefenzersetzung zu mächtiger Entfaltung gekommen war.

c. Regionen der fluviatilen Denudation. Die in langen Perioden angesammelten Produkte der Zersetzung können in verhältnismässig kurzer Zeit entfernt werden, wenn die fliessenden Gewässer steileres Gefälle erhalten. Eine Strandverschiebung kann dazu hinreichend sein. Häufiger geben tektonische Veränderungen dazu Anlass. Die Erosionsfurchen vertiefen sich und wachsen nach rückwärts in die Verwitterungsdecke hinein. Sie können deren ganze Masse nach dem Meere führen. Sollte es sich in irgend einem Lande erweisen lassen, dass es in der Periode der notwendig grossen, mit diesem Vorgange verknüpften Aenderungen steht, so wird man die früher (§ 48) angedeuteten abnormen Gestaltungen des unzersetzten Felsuntergrundes wahrnehmen müssen, falls die petrographische Zusammensetzung viel Wechsel bietet. Es wird der Formenreichtum durchfurchter Gebirgsländer an die Stelle des einfachern Charakters der im Zustande säkularer Verwitterung befindlichen Länder treten. Dass aber auch ungünstige Verhältnisse geschaffen werden können, zeigt der verfestigte Hochflächenlaterit von Indien (§ 206), dessen eigentümliche Eigenschaften sich aus

der Tieferlegung des Wasserabzuges herleiten liessen. Ueberhaupt wird das Einreissen tiefer Furchen in Tafelländer, wenn sie mit lockerm Aufschüttungsboden in grösserer Mächtigkeit bedeckt sind, ungünstig wirken, weil das Grundwasser abgezogen wird und daher in Perioden der Dürre der Boden bis in grosse Tiefe hinab der Feuchtigkeit ermangelt.

d. Abrasionsregionen. Wo die Brandungswelle abradierend arbeitet und eine schief ansteigende glatte Fläche durch die Gesteine hindurchlegt, wird alles, was sich über ihr befindet, in das Meer geführt (§ 161). Steigt die Fläche ohne Auflagerung transgredierender Gebilde an, so ist sie kahl, und es müssen erst allmählich die Bedingungen für die Wiederansiedlung einer Vegetation geschaffen werden.

4) Regionen der überwiegenden Aufschüttung.

Weitaus die grössten Erdräume sind gegenwärtig mit Aufschüttungen in solcher Weise bedeckt, dass sie durch diese ihren Charakter erhalten. Sie werden dadurch ebenso der Vorteile wie der Nachteile, welche den verschiedenen Arten des Aufschüttungsbodens eigen sind, teilhaftig. Man kann unterscheiden:

a. Regionen der marinen Aufschüttung. Sie umfassen alle Gegenden, in welchen der trockengelegte Meeresboden unverdeckt ist und daher den Oberflächencharakter bestimmt.

b. Alluvialboden der Ströme und Seen. Sie begreifen in sich die reichsten Länder und sind bald in kleineren isolierten Flecken, bald in schmalen Zonen entlang den Flüssen, bald in weiten Flächen verbreitet. In letzterm Falle überlagern sie gewöhnlich den flachen Meeresboden.

c. Gletscherschuttland. Dieses grenzt als zusammenhängendes Gebiet an die Gegenden der glacialen Denudation und nimmt grosse Räume ein, die hier und da von übergelagertem Alluvium unterbrochen werden oder eine Lössdecke tragen. Unebene Oberfläche, Undurchlässigkeit des Bodens, Reichtum an Seen, Sümpfen, Mooren und verlandeten Seeflächen zeichnen dieses Schuttland aus. Als einen besondern, dem Gletscherschuttlande räumlich eng verbundenen regionalen Typus könnte man noch die durch wässerige Aufbereitung daraus entstandenen Glacialschotter, Glacialsande und Glacialthone hinzufügen, deren Gebiete teils an jene des Schuttes grenzen, teils in ihnen sporadisch und regellos zerstreut sind.

d. Regionen des beweglichen Sandes. Es ist der Seigerung durch den Wind in vegetationslosen Gegenden gedacht worden. Gröbere Gesteinsstücke und Kies bilden einen unbeweglichen, der Sand einen unvollkommen beweglichen Rückstand, welcher als verderbliche Aufschüttung fortgewälzt wird und über ausgedehnte Landstriche verbreitet werden kann. Viel grössern Umfang haben:

e. Die Regionen der feinerdigen äolischen Aufschüttung. Die letztere erwies sich als beinahe überall vorhanden; aber charaktergebend wird sie erst, wenn die Anhäufung beträchtlichere Mächtigkeit erreicht. Sie liegt der Steppenbildung in den meisten Fällen zu Grunde, indem der feinerdige lockere und poröse Boden für den Effekt einer regenlosen Jahreszeit besonders empfindlich ist. Es lassen sich verschiedene Typen unterscheiden, je nachdem die Steppe abflusslos ist und die Salze im Boden bleiben (Salzsteppe) oder ein Abfluss in vereinzelten, ausserhalb der Steppe entspringenden und sie durchziehenden grösseren Rinnen stattfindet und damit die Salze zum Teile ausgelaugt werden, wie bei den meisten Savannen, Prairien, Schwarzerde- und Regursteppen.

f. Regionen der vulkanischen Aufschüttung. Diese sind vom Klima und von Höhenlagen unabhängig. Der vulkanische Schutt überzieht kleinere und grössere Erdräume mit einer Decke fremdartiger Gebilde, welche ebenfalls Steppen schaffen, wenn die Abzugsrinnen tief genug sind, um das Wasser im Boden versinken zu lassen.

5) Regionen der erodierten äolischen Aufschüttung.

Wenn tiefliegender Steppenboden von Erosionskanälen durchschnitten ist, so ist die Arbeit in diesen darauf gerichtet, den Boden vollständig hinwegzuschaffen. Die Zwischenstadien bringen den besondern Typus der Lössregionen hervor. Derselbe kann, wie in den meisten europäischen Lössgegenden, ein sehr vorgeschrittenes Stadium erreicht haben oder noch die früheren Entwicklungsstufen zeigen, wie in den Ländern, welche Centralasien im Westen, Süden und Osten begrenzen.

Es möge genügen, diese Typen der regionalen Bodenbildung zu nennen. In manchen Ländern sind mehrere derselben in vielfachem Wechsel nebeneinander vertreten. In anderen bezeichnen sie eine Einteilung im grossen. Sie sind in Russland § 223.

die Region der glacialen Aufschüttung, welche dem ganzen Norden den Charakter verleiht, die Region des Tafelland-Eluviums in der Mitte und diejenige der äolisch aufgeschütteten, von tiefen Stromrinnen durchzogenen Schwarzerde im Süden zu unterscheiden. Hier tritt die Bedeutung der regionalen Bodenarten für Vegetation und Kultur klar hervor. Im Norden und Süden bestimmen sie die Besonderheiten des Landes fast ausschliesslich, nur im mittlern Teile kommt der Gesteinscharakter des geologischen Baues reiner zur Geltung. Auf die Verbreitung der Pflanzenarten, insbesondere der Vegetationsformationen, müssen jene von grösstem Einflusse sein. Soweit der Ackerbau sich an die isotopischen Alluvialthäler hält, ist er davon unabhängig; aber er muss sich nach den Unterschieden der anderen regionalen Bodenarten richten, sowie er diese aufsucht. Aehnlich sind die Verhältnisse in Indien, wo ebenfalls der Gesteinscharakter nur streckenweise den Charakter der Landschaft und der Flora bestimmt, dagegen die Gebiete des Laterites der Niederungen, des Hochflächenlaterites, des Regur, der weiten Alluvialflächen, des treibenden Sandes und anderer teils regional verbreiteter, teils isotopisch wiederkehrender Bodenarten meist mit grosser Schärfe hervortreten. Man kann den ganzen asiatischen Kontinent von diesem Gesichtspunkte ins Auge fassen, und einer besondern Anwendbarkeit scheint er in Afrika fähig zu sein. Der Reisende sollte ihn überall beachten und Material für eine vergleichende Kunde nicht nur der Bodenarten und ihres kausalen Zusammenhanges mit dynamischen, grossenteils im Klima beruhenden Agentien, sondern auch des Einflusses der Bodenarten auf die organische Welt und den Menschen, d. h. für eine allgemeine geographische Bodenkunde, sammeln.

Schon Humboldt hatte in seiner „Physiognomik der Gewächse“ die Wichtigkeit der „Vegetationsformationen“ erkannt, welche dann unter dieser Benennung von Grisebach einem eingehenden Studium unterworfen worden sind. Er zeigte, dass sie den Charakter einer Gegend in höherm Grade bestimmen als die Gattungen und Arten der Pflanzen. In dem Klima fand er einen wichtigen Faktor, welcher der Herausbildung besonderer, in Form und Beschaffenheit von Stengeln, Blättern, Blütenorganen, Epidermis u. s. w. beruhender Typen, dem Gedeihen von Waldbäumen oder geselligen Gräsern oder kaktusartigen Gewächsen in einem, ihrem Fehlen in einem andern Falle zu Grunde liegt. Nachdem inzwischen durch Englers vortreffliche

Forschungen der Gesichtspunkt der Ausbreitung der Pflanzen durch Wanderung infolge ehemaliger klimatischer Wandelungen und Aenderungen in der Verteilung von Land und Meer gebührende Berücksichtigung gefunden hatte, hat in neuester Zeit Hans Reitter (Versuch einer Oekologie der Gewächse, Graz 1885) die Untersuchung auf einen andern wichtigen kausalen Faktor, nämlich die physiologische Anpassung der Gewächse und ihrer einzelnen Organe an klimatische Bedingungen, zum Gegenstande eingehender Untersuchung gemacht. Es dürfte Botanikern als weitere notwendige Ergänzung dieses Forschungsbereiches das Studium des Einflusses des Bodencharakters auf die Pflanzen und ihre einzelnen Organe und Lebensfunktionen, sowie auf ihre Anpassung an wechselnde Bodenverhältnisse empfohlen werden. Man hat zwar längst gewisse Beziehungen einzelner Pflanzenarten zu der Natur des unterlagernden Gesteines zu erkennen geglaubt. Aber viel wichtiger erscheinen die Beziehungen sowohl der Arten, wie auch insbesondere der Vegetationsformationen, zu dem Bodencharakter; sie dürften die zahlreichen Ausnahmen erklären, welche hinsichtlich der Abhängigkeit vom Gesteine gefunden worden sind. Die land- und forstwirtschaftliche Bodenkunde hat nicht ermangelt, auch dem hier angeregten Gegenstande nach wissenschaftlichen Grundsätzen und durch Anwendung exakter, hohe Bewunderung verdienender Methoden Rechnung zu tragen; aber man hat dabei wesentlich die nutzbaren Gewächse und die wichtigeren heimischen Bodenarten im Auge gehabt. Dem botanisch gebildeten Reisenden bietet sich Gelegenheit, den Gesichtspunkt viel weiter zu fassen und Materialien für die allgemeinere Berücksichtigung des Faktors der Bodenbeschaffenheit neben demjenigen des Klimas und der Verbreitung der Pflanzen infolge klimatischer Aenderungen zu sammeln.

Es lassen sich noch andere Gesichtspunkte für die regionale Verbreitung besonderer Merkmale des Bodens finden. Einen solchen geben z. B. die an der Zusammensetzung der Oberfläche des letztern teilnehmenden Stoffe abgestorbener Pflanzenteile. Zu einer Bodenkunde gehört die Verbreitung der Moor- und Torfbildung, der humusreichen und der bei vorhandener Vegetation humusfreien Bodenarten, sowie des pflanzenleeren Bodens. Der letztere ist hier noch besonders zu betrachten.

Die Wüsten.

Der pflanzenleere Boden bildet Wüsten. Auch dies ist ein regionaler Typus. Die Wüste hängt morphographisch mit § 224.

Oberflächenformen nicht zusammen; denn sie kann Flachland, Tafelland und Gebirge umfassen. Morphologisch kann sie allerdings mit der Existenz gewisser Oberflächenformen in ursächlicher Beziehung stehen, insofern z. B. eine Gebirgsumwallung die feuchten Winde abhalten oder eine ebene Flächenausbreitung den Mangel an Niederschlägen begünstigen kann. Ungleich der Steppe, ist die Wüste auch an bestimmte Bodenarten nicht geknüpft. Jede der vorhergenannten kann in der Wüste vorkommen, wenn auch die feinerdigen meist nur kurzen Bestand in ihr haben. Charakteristisch für die äussere Erscheinungsform der Wüste ist die Vegetationslosigkeit und der Mangel an Wasser oder wenigstens die Armut in beiderlei Hinsicht und das Vorkommen des Wassers in solcher Weise, dass es der Vegetation keinen oder nur ganz örtlich beschränkten Nutzen bringen kann. Die Wüste ist daher weitaus in erster Linie eine Funktion des Klimas. Abgesehen von den besonderen Typen derselben, bei denen die Pflanzenarmut durch übermässige Kälte verursacht wird, findet sie sich vorwaltend dort, wo ein relativ geringer Feuchtigkeitsgehalt den Zustand der Atmosphäre beherrscht, daher einerseits in den Wegen konstanter, von höheren nach niederen Breiten gerichteter Luftströmungen, andererseits auf der Leeseite von Gebirgen, welche quer gegen eine konstante oder doch bedeutend vorwaltende Luftströmung, auch wenn dieselbe ursprünglich viel Feuchtigkeit enthielt, gerichtet sind. Da in höheren Breiten der Sättigungspunkt tief liegt und der Feuchtigkeitsgehalt der Luft sich niemals weit von ihm entfernen kann, daher Niederschläge schon durch geringe Temperaturwechsel verursacht werden, so bilden sich dort keine durch Feuchtigkeitsmangel bedingte Wüsten. Dieselben sind an Regionen gebunden, welche sich wenigstens während einer Jahreszeit bedeutend zu erhitzen vermögen. Ein anderes Moment, welches sie an wärmere Gegenden bindet, besteht darin, dass hier die Feuchtigkeit, wenn sich zuweilen Niederschläge ereignen, schnell verdunstet. Der rasche Verlust der Feuchtigkeit kann auch durch andere Umstände veranlasst werden und kleine örtlich beschränkte Wüstengebiete schaffen. Zu diesen Umständen gehört die Aufschüttung sehr lockern, das Einsickern und die schnelle Verdunstung in gleicher Weise befördernden Bodens in grosser Mächtigkeit, bei tiefer Lage des Grundwasserniveaus. Küstendünen in feuchten Ländern und Anhäufungen von reinem Sande oder Kiese oder vulkanischem

Tuffe bilden oft sporadische Wüstenflecke. Sie können auch durch nackten zerklüfteten Fels, insbesondere Kalkstein, verursacht werden, indem hier ebenso ein schnelles Versinken der Feuchtigkeit und rasche Verdunstung an der Oberfläche stattfinden.

Ein wichtigeres und einheitlicheres Merkmal der Wüsten ergiebt sich von dem Gesichtspunkte jener dynamischen Vorgänge, welche bei der Betrachtung der Bodenbildung leitend waren. Wüsten sind die Regionen äolischer Abräumung und äolischer Aufbereitung mit Zurücklassung des Gröberen. Sie stehen dadurch im Gegensatze zu den Steppen, welche die Hauptgebiete der feinerdigen äolischen Ablagerung sind. Die Wüste ist daher die Hauptbereitungsstätte für den Steppenboden und hat dadurch eine wichtige Funktion. Beide grenzen oft dicht aneinander, und man findet keine Steppenboden sporadisch zwischen Wüstenstrecken, sodass man den Unterschied beider häufig verkannt hat. Aber derselbe bleibt in allen Fällen bestehen. Der kleinste oasenartige Steppenfleck ist vor der Abräumung durch Wind geschützt und erhält nur dessen feinerdige, zuweilen mit etwas Sand vermischte Ablagerungsprodukte. Sowie die gröberen Reste der Aufbereitung auf die Oase gewälzt werden, wird diese in Wüste verwandelt. Gleichviel ob die Wüste gebirgig oder eben, ob sie über weite Erdräume ausgedehnt sei oder nur als ein kleiner Fleck einige Hektare umfasse, überall ist sie schutzlos den bewegenden Kräften der Atmosphäre ausgesetzt.

Es lassen sich verschiedene Typen der Wüsten unterscheiden. Man kann dabei von den Gesichtspunkten der Dynamik, der Zusammensetzung und der äussern Gestalt ausgehen. Es dürfte gut sein, sie sich einzeln klar zu machen und die Beobachtung durch sie leiten zu lassen. Der dynamische Gesichtspunkt ergiebt folgende Typen:

a. Die Eluvialwüste. In dieser ist der Boden mit grobem Schutte bedeckt, welchen der Wind bei der Seigerung zurückliess. Der Ausdruck „Eluvium“ passt am vollkommensten für die mit kantigen Absplitterungsstücken bedeckte Hammada (S. 94). Die Kieswüste, welche in der Sahara Sserir genannt wird, kann aus verschiedenen Gebilden entstehen. Werden die Produkte säkularer Verwitterung durch Wind ausgeräumt, so bleiben, wie in § 195 gezeigt wurde, die grösseren Stücke zurück und werden von treibendem Sande völlig glatt geschliffen.

Während die zerreiblichen unter ihnen mit der Zeit der beständigen Abfeilung unterliegen, leisten die härteren länger Widerstand, und es bleibt schliesslich eine mit runden Kieseln von Quarz bedeckte Fläche übrig. In Konglomeraten und in porphyrischen oder vulkanischen Tuffen können die Kiesel schon vorgebildet gewesen sein, und aus solchen Tuffen mögen vielleicht die für manche Kieswüsten charakteristischen Kiesel von Chalcedon und Achat stammen. Die Möglichkeit eines ähnlichen Ursprungs für die als „versteinerte Wälder" bekannten Ansammlungen verkieselter Hölzer wurden an einer andern Stelle (S. 432) angedeutet. — Hierzu kommen als an Ort und Stelle entstandene Gebilde die Schuttkegel der Wüstengebirge, deren charakteristische Wiederkehr aus verbreiteten Photographien und Abbildungen bekannt ist.

b. Die Denudationswüste. Es wird wesentlich von dem Charakter des Gesteines abhängen, ob die Produkte seiner Zerstörung durch Desquamation und Korrasion sogleich vom Winde fortgeführt werden können. Geschieht dies, so bleibt der nackte Fels zurück; es entsteht die Felswüste. Sie ist meist Tafelland oder Gebirge. Die Korrasion ist eine in ihr wesentlich wirkende Kraft.

c. Die Aufschüttungswüste. Diese besteht aus den vom Winde fortgetragenen gröberen Aufbereitungsprodukten. Ihre einzige Form ist die Sandwüste, die aber in ihrer äusseren Ausgestaltung, je nach der Anhäufung zu Dünen oder der ebenflächig-welligen Ausbreitung verschiedene Typen darbieten kann. Feinerdige Stoffe kommen in der Wüste nicht dauernd zur Ablagerung, sondern werden bald weitergetragen.

Von dem Gesichtspunkte der Zusammensetzung wird man zunächst die Felswüste, die Kieswüste, die Splitterwüste oder Hammada und die Sandwüste zu unterscheiden haben. Dazu kommt die salzige Lehmwüste, welche, durch das feste Gefüge des Bodens sehr widerstandsfähig, grössere Flächen in der aralokaspischen Niederung einnimmt und zu den ödesten Typen gehört. Sie bildet dort und auch im Tarymbecken häufig den glatten Untergrund von Sandaufschüttungen.

Nach den Bodenformen könnte man die Gebirgswüste mit ihren sporadischen Quellen in den Thalschluchten, die Tafellandwüste mit ihren terrassenförmigen Abstufungen gegen jetzige und ehemalige Flussläufe wie gegen die Küsten hin, die Flachlandwüste, die Beckenwüste, welche z. B. für das eranische Hochland und den südwestlichen Teil des Great Basin charakteristisch ist, und die Dünenwüste unterscheiden.

Dreizehntes Kapitel.

Beobachtungen über Gesteine.

Wenn die Untersuchung des lockern Erdreiches zur Erkenntnis der letzten Entwicklungsphasen in der Geschichte eines Erdraumes und zum Verständnisse der Existenzbedingungen seiner Fauna und Flora, sowie einer der wichtigsten Grundlagen für die menschliche Kultur beiträgt, so ist die Erforschung der den festen Grundbau zusammensetzenden Gesteine und der Art ihres gegenseitigen Verbandes erforderlich, um den Erdraum selbst in seiner Plastik für sich allein, im Verhältnisse zu umgebenden Erdräumen und als einen Teil der festen Erdrinde überhaupt zu erfassen. Gehören die Umgestaltungen durch von aussen wirkende Agentien, somit auch die Prozesse der Bildung des lockern Erdbodens, grösstenteils dem Forschungsgebiete der physischen Geographie an, so begeben wir uns nun gänzlich in dasjenige Gebiet, welches das Fundament der speziell geologischen Forschung bildet. Die Aufgabe zerfällt in zwei Teile, nämlich die Untersuchung der Gesteine und die Ergründung ihrer Lagerungsverhältnisse. Die letzteren wiederum betreffen einerseits die Altersfolge der Ablagerungen und der sie durchbrechenden Gesteine, andererseits die Tektonik, d. h. die Art, wie die Gesteinsmassen, seien sie geschichtet oder nicht, im Verhältnisse zur Oberfläche gestellt und im Verhältnisse zueinander zusammengefügt sind. Indem wir die Tektonik einem spätern Abschnitte vorbehalten, beschäftigen wir uns hier nur mit den Gesteinen nach ihren Eigenschaften und ihrer Altersfolge, und zwar sollen im gegenwärtigen Kapitel die vulkanischen Gesteine noch ausgeschlossen werden, um in dem nächsten einer zusammenhängenden Betrachtung unterzogen zu werden. Es handelt sich um Gegen- § 225.

stände, zu deren eingehendem Studium bedeutendere Vorkenntnisse erforderlich sind. Immerhin wird selbst der Laie gewisse Beobachtungen ausführen können, hinsichtlich der Gesteine aber gut thun, nach den früher (§ 9) angegebenen Regeln möglichst ausgiebig Handstücke zu sammeln.

Eine kurze Betrachtung des Materials, aus welchem der Grundbau der Erdoberfläche besteht, wird zeigen, in welche Klassen die der Beobachtung des Reisenden sich darbietenden Gesteine zerfallen. Wir werden dann auf die bei jeder einzelnen in Betracht kommenden Gesichtspunkte eingehen.

Allgemeine Zusammensetzung der Lithosphäre. — Die Grundzüge der systematischen Anordnung der Gesteine, welche in dem Aufbaue des der Beobachtung zugänglichen Teiles der Erdrinde vertreten sind, hängen eng mit den Grundzügen der Entwicklungsgeschichte der letztern zusammen, wie sie sich auf induktivem Wege ergeben hat. Die Entstehung einer festen Rinde auf dem ehemals heissflüssigen Erdkörper durch Ausstrahlung der Wärme bei gleichzeitiger Kondensierung hoch überhitzten Wassers auf ihrer Oberfläche bezeichnet, soweit die Forschung in das Chaos der Urgeschichte einzudringen vermocht hat, den Anfang der Gesteinsbildung. Von dieser ersten Oberfläche aus wuchs die Rinde nach aussen durch Aufwärtsdringen heissflüssiger Massen aus der Tiefe und durch Absatz von deren Zerstörungsprodukten aus dem Wasser, während sie nach innen in weit stärkerm Masse durch Uebergang in einen Zustand hochgradigster Zähflüssigkeit und schliesslicher Erstarrung zunahm. Hier war der Sitz des Vulkanismus, der, als die Rinde dünn war, wenig Widerstand zu überwinden hatte, sich sehr häufig äusserte und die der Erstarrungsoberfläche zunächst gelegenen Teile des Innern durch Spalten nach aussen brachte, später aber, als durch fortschreitende Erstarrung die Widerstände allmählich wuchsen, sich mehr und mehr selten und paroxysmatischer äusserte, während zugleich die nach der Oberfläche gelangenden Massen aus grösserer Tiefe stammten und, da die Zusammensetzung der Erde von der Oberfläche gegen das Innere sich nach mathematischen Gesetzen ändert, von anderer Beschaffenheit waren als die früheren.

Der sich zu gleicher Zeit allmählich verdickende äussere Teil der Rinde setzte sich demnach aus zweierlei Produkten zusammen: 1) den in heissflüssigem Zustande aus der Tiefe heraufgedrungenen, stets mit überhitztem Wasser vermengten

Massen, welche kristallinisch erstarrten und die Eruptivgesteine abgaben, deren wichtigste Eigenschaft darin besteht, dass ein in ihrer chemischen Zusammensetzung waltendes arithmetisches Gesetz diejenigen unter ihnen, welche normal und in weitaus vorwaltender Masse auftreten, zu einem Ganzen verbindet; 2) den Sedimentgesteinen, welche sich im Wasser absetzten und anfangs aus der Zerstörung der Gebilde der Erstarrungsrinde und der Eruptivgesteine, später aus derjenigen der letzteren und der älteren Sedimente hervorgingen. Sie haben eine regellose, von zufälligen Umständen abhängige chemische Zusammensetzung und sind in Form horizontaler oder wenig geneigter Lagen oder Schichten (normal) abgelagert, während die Eruptivgesteine in von unten nach oben (abnorm) gerichteten Spalten aufstiegen und entweder Hohlräume zwischen den Sedimentschichten anfüllten und sich zwischen diese als Lakkolithe einzwängten oder sich an der Oberfläche durch Ueberströmen ausbreiteten; unter besonderen Umständen veranlassten sie bei der Ankunft an dieser paroxysmatische und explosive Erscheinungen und verursachten dadurch die Entstehung von Vulkanen. — Da die Sedimentgesteine die äussere Entwicklung von der Erstarrungsoberfläche nach oben darstellen, die Eruptivgesteine aber in ihrer chemischen Zusammensetzung ein Abbild der innern Entwicklung von der Erstarrungsoberfläche nach unten geben, so haben beide in ihr einen gemeinsamen Berührungspunkt und müssen dort aus demselben Materiale bestehen. Granit, welcher neben seiner Verbreitung innerhalb der Erdrinde als die Unterlage aller Sedimentgebilde angesehen werden muss, und Urgneis, welcher das tiefste derselben bildet, sind daher eng verwandt und oft identisch. Sie bilden die Ausgangspunkte der Systematik der Gesteinslehre, welche sich nach diesen Grundanschauungen leicht in ihren leitenden Zügen übersehen lässt. Es ist dabei stets festzuhalten, dass es bei den Gesteinen keine scharf getrennten Gattungen und Arten giebt, sondern wie Granit und Gneis ineinander übergehen, so auch jedes Gestein überhaupt durch Aenderung der Struktur oder der Zusammensetzung mit gewissen anderen Gesteinen durch Uebergänge verbunden ist. Dies erschwert die präcise Anwendung der Nomenklatur.

Uebersicht der Gesteine. — Weitaus vorwaltend sind an der Erdoberfläche die aus der Zertrümmerung, Verwitterung und Lösung älterer Gesteine und die oftmals wiederholte Zerstörung und Umlagerung der Zerstörungsprodukte hervor-

gegangenen Sedimentgesteine. Sie sind als sekundär bezeichnet worden, insofern ihre Bestandteile aus anderswo ursprünglich entstandenen Gesteinen herstammen. Im Gegensatze zu ihnen werden die Erstarrungsgesteine, die sich noch jetzt an dem Orte ihrer Gesteinswerdung befinden, primär genannt. Ihre Rolle im Aufbaue des an der Oberfläche sichtbaren Teiles der Erdrinde ist gering.

Im folgenden sollen die Hauptunterschiede der grossen Gruppen der Gesteine dargestellt werden. Wie bei früheren Abschnitten, wird dabei in erster Linie auf die Zusammenfassung dessen, was sich am häufigsten in der Natur zu einem Ganzen verbunden der Beobachtung bietet, Rücksicht genommen werden. Es kommt daher auf eine systematisch geordnete Uebersicht nicht an.*)

1. Die kristallinischen Schiefer.

§ 226. Die Sedimentgesteine lassen sich zunächst nach Unterschieden des Alters, denen im wesentlichen und ganzen ein durchgreifender Unterschied des äussern Charakters entspricht, in eine ältere und eine jüngere Reihe trennen. Man bezeichnet sie auch als die archaischen und die sekundären Sedimentgesteine oder das Flözgebirge. Die ersteren reichen im Alter von den Anfängen der Sedimentbildung bis zu der Zeit, welche dem ersten nachweisbaren organischen Leben auf der Erde voranging, und sind daher auch als das Urgebirge oder als die Gesteine des azoischen Zeitalters bezeichnet worden: die anderen umfassen die lange Periode, aus welcher die Tiere und Pflanzen ihre Spuren in zahllosen deutlichen Resten hinterlassen haben. In der ersten Reihe walten die durch die kristallinische Ausbildung ihrer Gemengteile ausgezeichneten kristallinischen Schiefer weitaus vor, in der zweiten die aus agglomerierten Massen durch Cementation verhärteten Sandsteine, Schieferthone und Kalksteine. Die späteren Gesteine der ersten und die älteren Gesteine der zweiten Reihe sind

---

*) Neben den oben (S. 13) genannten geologischen Hülfsbüchern und den grösseren, nur für den Fachmann berechneten Handbüchern der Petrographie können als bequeme und handliche Bücher zur Belehrung und zum Nachschlagen für den Reisenden empfohlen werden:

A. v. Lasaulx. Einführung in die Gesteinslehre, Breslau 1885. — J. Blaas. Katechismus der Petrographie, Leipzig 1882.

durch Uebergänge miteinander verbunden, insbesondere durch die in ihrer Ausbildung sehr wechselnden Phyllite.

Die angegebene einfache allgemeine Einteilung wird dadurch kompliziert, dass die sekundären Sedimentgesteine häufig eine hochgradige Umwandlung erfahren haben, welche hauptsächlich in der Herbeiführung eines kristallinischen Gefüges mittelst molekülarer Umsetzung bestand. Veranlasst wurde dieselbe teils durch Kontakt mit heissflüssigen, unter Abgabe von Wärme und erhitzten Lösungen erstarrenden Eruptivgesteinen, teils dadurch, dass jene Gesteine meist in grosser Tiefe unter der Erdoberfläche dem gleichzeitigen Einflusse hohen Druckes, hoher Wärme und intensiver Stauung und Faltung bei Anwesenheit von Feuchtigkeit durch lange Zeiträume ausgesetzt waren. Es wurden dadurch Abänderungen geschaffen, welche zum Teile den archaischen Gesteinen genau gleichen, zum Teile Uebergangsstufen zu deren Charakteren bilden, zum Teile aber auch ihre Repräsentanten unter jenen nicht haben. Alle diese Umwandlungsprodukte bezeichnet man als metamorphische Schichtgesteine. Es ist die schwierige Aufgabe der eingehendern Forschung, die Thatsache der Umwandlung im einzelnen nachzuweisen und einerseits die Altersstufe zu ergründen, welche jedem örtlich auftretenden metamorphischen Sedimentgesteine in der Reihe der sekundären Schichtgesteine zukommt, sowie andererseits die Epoche und die Agentien der Umwandlung festzustellen. Der Reisende wird dazu selten Gelegenheit haben; für seine Bedürfnisse ist es in der Regel ausreichend, die metamorphischen Sedimentgesteine mit den archaischen als kristallinische Schiefer zusammenzufassen. Dies entspricht auch der in der Wissenschaft gebräuchlichen Nomenklatur, indem man sich des letztern Namens in der Petrographie allgemein und bei geologischen Beschreibungen in allen den Fällen, in welchen eine Altersbestimmung nicht möglich ist, zu bedienen pflegt.

Gesteinsarten. — Bei der grossen petrographischen Mannigfaltigkeit, in der die kristallinischen Schiefer auftreten, ist es erforderlich, sich mit einzelnen charakteristischen Typen gut bekannt zu machen. Viele Gesteine, welche deren Merkmale nicht rein zeigen, werden sich dann als Zwischenstufen erkennen und beschreiben lassen, andere durch die Beimengung besonderer Mineralien ausgezeichnet sein. Als wichtigste, zugleich meist leicht erkennbare Typen sind zu bezeichnen: Gneis, Granulit,

Glimmerschiefer, Hornblendeschiefer, Chloritschiefer, Sericitschiefer, Thonglimmerschiefer, Urthonschiefer (letztere drei die Hauptarten der jetzt gewöhnlich zusammengefassten Phyllite). Dazu kommen als häufige Einlagerungen: Körniger Kalkstein (Marmor) und Quarzit. Betreffs der Beschreibung dieser Gesteine und ihrer zahlreichen Abänderungen kann auf die angeführten Hülfsbücher verwiesen werden. Man sollte sich in Sammlungen mit ihnen bekannt machen. Eine Vertrautheit kann allerdings nur durch die Praxis gewonnen werden, und selbst diese führt schwer zu vollkommener Beherrschung der ausserordentlich grossen Menge von Abänderungen und Uebergangsstufen. Die mikroskopische Untersuchung vermehrt fortdauernd deren Zahl. Diese Schwierigkeit darf nicht abschrecken. Der Reisende erfüllt seine Aufgabe, wenn er die vorherrschenden und sicher erkennbaren Gesteine angiebt.

Entstehungsweise der kristallinischen Schiefer. — Da fast jeder Typus der archaischen kristallinischen Schiefergesteine irgendwo sein Gegenbild unter den durch Metamorphismus des Flözgebirges entstandenen hat, so ist es eine naheliegende Vermutung gewesen, dass die ersteren sämtlich einen entsprechenden Umwandlungsprozess durchgemacht haben und ursprünglich in denselben Formen wie das Flözgebirge abgelagert worden seien. Diese Folgerung ist häufig gezogen worden, hat aber in solcher Verallgemeinerung geringe Wahrscheinlichkeit, weil die Bedingungen der Lösung, der Zerstörung und des Niederschlages in dem überhitzten und unter hohem Dampfdrucke stehenden archaischen Meere andere waren als in der Zeit vorgeschrittener Abkühlung. Es häufen sich die Gründe für die Annahme, dass in dem entstehenden Oceane, dessen Temperatur auf Hunderte von Graden Celsius anzusetzen ist, ähnliche Gesteine ursprünglich gebildet wurden, wie sie später aus der Umwandlung anderer Sedimente hervorgingen, umsomehr, als das Zerstörungsmaterial, mit welchem in beiden Fällen operiert wurde, aus den gleichen mineralischen Grundstoffen bestand und der Hauptunterschied darin beruht, dass im Falle des Metamorphismus die Agentien: Druck, Wärme und überhitztes Wasser nachträglich hinzutraten, während sie bei der Bildung archaischer Gesteine ursprünglich thätig waren. Indessen scheint es, dass ein primär-kristallinischer Ursprung doch nur für die ausserordentlich umfassende, die Geschichte

unermesslicher Zeiträume darstellende Masse der älteren archaischen Gesteine angenommen werden kann, da bei den jüngeren viele Thatsachen für eine nachträgliche Umwandlung sprechen.

Die Entstehungsweise der archaischen kristallinischen Schiefer, welche noch lange zu den grossen vielumstrittenen Rätseln in der Geologie gehören wird, ist mit der angedeuteten Annahme einer in den früheren Phasen ursprünglichen und in den späteren Phasen metamorphischen Bildung nicht erschöpft. Geht man zurück auf die früheste erkennbare Phase, so ist deren Repräsentant der Urgneis. Dieser aber ist, wie bemerkt, mit dem Gneisgranite so innig verbunden, dass beide gleichzeitig und in beinahe gleicher Weise entstanden sein müssen. Es liegt nahe, beide als Teile der ursprünglichen Erstarrungsrinde des Planeten zu betrachten, wobei in Betracht zu ziehen ist, dass das erstarrende Magma mit hochüberhitztem Wasser so durchdrungen war, dass es sich nur quantitativ von einer wässrigen Lösung, wie sie nach dem ersten Niederschlage des Wassers eingetreten sein muss, unterschieden haben kann. Eine bedeutende Rolle in dem Hervorbringen einer schieferigen Struktur und der eigentümlichen Gleichförmigkeit der Streichrichtung, welche bei steilem Einfallen den Urgneis weiter Erdräume charakterisiert, dürfte der Flutwelle zuzuschreiben sein, welche damals in der sich bildenden Erdrinde selbst erzeugt wurde und das erstarrende Magma durch Anpressung an schon erstarrte Rindenteile in successive Faltungen legte. Diese Faltungen würden somit keineswegs das Mass anzeigen, um welches damals der Umfang der Erde verkleinert wurde. — Wahrscheinlich fand horizontale Anordnung der innern Struktur bei diesen ältesten Gebilden nirgends statt, aber auch ebensowenig ein chaotisches Durcheinander, weil die bestimmte Bewegungsform der Flutwelle nur gesetzmässige Lagerungsformen verursachen konnte. Man sollte daher die ursprüngliche Streich- und Fallrichtung der Urgneise, wo sie über grössere Erdräume gleichmässig ist, behufs allgemeiner Vergleichung genau feststellen. Sie dürfte auf die Richtung von Verschiebungen in späteren Zeitaltern von Einfluss geblieben sein. Eine andere Entstehungsweise ist für gewisse Gesteine, welche alle Charaktere der kristallinischen Schiefer haben, in der Streckung und Flaserung gesucht worden, welche eruptive Massen durch Bewegung unter hochgradiger Pressung erfahren mussten. Es sind hierfür eine Anzahl bemerkenswerter Belege beigebracht worden.

a. Die kristallinischen Schiefer des archaischen Zeitalters oder das Urgebirge.

§ 227. Das archaische Zeitalter umfasst überaus lange Zeiträume, während deren erhebliche Umgestaltungen auf der Erdoberfläche vor sich gingen. Von ihrer Art und Bedeutung wird es niemals möglich sein, annähernd vollkommene Vorstellungen zu gewinnen. Das Entstehen der Rinde, das Wechselverhältnis zwischen Erstarrung und Durchdringung mit eruptiven Massen, die in dem Urmeere herrschenden Bedingungen von Lösung und Absatz — dies sind Gegenstände, welche sich über den Bereich der Hypothese hinaus kaum der Erkenntnis erschliessen werden.

Mit dem fortschreitenden Alter der Erde fanden Aenderungen in den Bedingungen der Gesteinsbildung statt. Die Sedimente aus einem überhitzten wichen allmählich solchen aus einem sich allmählich abkühlenden Oceane, die chemischen Absätze dem Niederschlage mechanisch suspendierter Teile.

Deutlich lassen sich innerhalb des archaischen Zeitalters weitgreifende Transgressionen (s. § 260) jüngerer Gebilde über ältere erkennen. In Anbetracht der Härte der Gesteine, welche der Abrasion unterlagen, geben sie Zeugnis von überaus mächtiger Wirkung der Brandungswelle. Von dieser Zeit an müssen Sedimente entstanden sein, welche denen der späteren Zeitalter immer ähnlicher wurden. Vor allem traten Differenzierungen durch die Zusammenführung des gleichartigen Kornes mittelst der Aufbereitung, sowie der Aussonderung gleichartiger Massen aus Lösungen ein. Man kennt aus dem archaischen Zeitalter Gneise mit gerollten Einschlüssen, welche nur als umgewandelte Konglomerate zu deuten sind, Quarzite und quarzig-glimmerige Schiefer, welche teils aus reinem, teils aus thonigem Sandsteine entstanden zu sein scheinen, sehr feinkörnige und feinschuppige Schiefergesteine, welche trotz der kristallinischen Ausbildung der meisten Bestandteile offenbar als Schlammabsätze entstanden sind, kristallinische Kalksteine, für deren Entstehung es ausser der Absonderung durch organische Wesen eine sichere Erklärung nicht giebt, Graphitlager, welche auf Kohlenbildung schliessen lassen, und alle diese Gesteine wechsellagern mit kristallinischen Schiefern solcher Arten, welche für die früheren Phasen der archaischen Zeit allein charakteristisch waren. Auch metallische Absätze wurden in grossen Massen zusammengeführt.

Den eigentlichen Uebergang zu den Gesteinen des Flözgebirges bilden ebenso hinsichtlich der zeitlichen Aufeinander-

folge als der petrographischen Beschaffenheit die zu grünen und grauen Phylliten verhärteten Schlammabsätze.

b. Die metamorphischen Gesteine.

§ 228. Wenn man von metamorphischen Gesteinen redet, so meint man im allgemeinen nicht solche Gesteine, welche trotz einer erlittenen chemischen Umwandlung ihre ursprüngliche Beschaffenheit noch deutlich erkennen lassen — wie der zersetzte Gneis, der kaolinisierte Granit, der in Serpentin veränderte Gabbro, der dolomitisierte Kalkstein, der in Anhydrit veränderte Gips, der zu Quarzit erhärtete Sandstein, der verfestigte Kalkstein oder die von vulkanischen Dämpfen zerfressenen Gesteine —, sondern solche, welche eine völlige Umänderung in mineralischem Bestande und Struktur erfahren haben und die Natur des zu Grunde liegenden Gesteines nicht mehr unmittelbar der Beobachtung erschliessen. Je nachdem die metamorphischen Gesteine als Umrandungen von eruptiven Massen vorkommen oder in ausgedehnten, mit solchen nicht unmittelbar zusammenhängenden Arealen auftreten, unterscheidet man den Kontaktmetamorphismus und den regionalen Metamorphismus.

Der Kontaktmetamorphismus bietet sich in solchen Gebieten, wo sekundäre Sedimentgesteine von Eruptivgesteinen durchbrochen werden, der Beobachtung häufig dar. Seine genauere Untersuchung sollte dann niemals unterlassen werden. Vulkanische und porphyrische Gesteine haben meist nur geringe Umwandlungen hervorgerufen, welche sich auf den Einfluss von Wärme und Entfernung des Wassergehaltes mittelst derselben zurückführen lassen. Zuweilen ist in ihrer Umgebung keine Spur einer Einwirkung wahrzunehmen, und wo sie vorhanden ist, beschränkt sie sich auf eine Aenderung der Farbe des Nebengesteines, auf eine Anschmelzung desselben, auf die Hervorbringung einer prismatischen Absonderung, welche auf Erhitzung und nachmalige Erkaltung schliessen lässt, auf Verkokung von Steinkohle etc. Dagegen sind granitische Gesteine oft von einer Hülle metamorphischer Gebilde in grosser Mächtigkeit umgeben. Bildet das Eruptivgestein eine Anzahl mächtigerer Gänge, so ist gewöhnlich der Grad der Umwandlung nicht bedeutend und beschränkt sich auf das Kristallinischwerden des Kalksteines, die Frittung von Sandsteinen, die Verwandlung von thonigen Schiefern in jaspoidartiges Gestein. Erst wenn jenes selbst in grossen stockförmigen Massen auftritt, stellt sich meist eine hochgradige Kontaktwirkung ein,

die sich bis zur Entfernung von mehreren tausend Metern erstrecken kann und dabei mit dem Abstande von dem Eruptivgesteine an Intensität abnimmt. Die bemerkenswertesten Erscheinungen bietet der Kalkstein, welcher nicht nur selbst vollkommen kristallinisch wird, sondern auch häufig Einschlüsse von kalkhaltigen Silikatmineralien in ausgezeichneter Kristallisierung enthält. Es sind die oft wiederkehrenden Kontaktmineralien: Granat, Vesuvian, Glimmer, besondere Typen von Hornblende und Augit (Fassait), Wollastonit, Pleonast, Spinell etc., welche dem Eindringen mineralischer Lösungen von dem Eruptivgesteine in den erhitzten Kalk zugeschrieben werden müssen. Da der Kalkstein der Verwitterung am wenigsten Widerstand leistet, so werden die Kristalldrusen dieser Mineralien oft freigelegt. Ein interessantes Problem bietet hier der Einfluss der Umgebung, in welcher die Kristallisation erfolgte, auf die Kristallform. Bei Thonschiefern hat man zuweilen (z. B. bei den Steiger Schiefern der Vogesen nach Rosenbusch) eine äussere Umwandlungszone in Knotenschiefer, eine zweite in Knotenglimmerschiefer, eine dritte (innerste) in Hornfels erkannt. In einem andern Falle (kambrische Schiefer der asturischen Gebirge nach Barrois) giebt sich bei der Annäherung an den Granit zuerst eine veränderte Aggregation der Mineralien zu erkennen, insbesondere die Anhäufung des Glimmers zu Knoten und Leisten; in einer zweiten Zone stellt sich dunklerer Glimmer ein mit Chlorit, Chiastolith und Turmalin; in der dritten, dem Granite zunächst liegenden ist der Thonschiefer in Glimmerschiefer verwandelt. Nur für wenige Fälle liegen genaue Untersuchungen vor. Wo die Thatsache der Umwandlung deutlich erkennbar ist, sollte man besonders bestrebt sein, die Schichtglieder eines und desselben Gesteines von dort, wo es unverändert ist, bis an das Eruptivgestein heran zu verfolgen und Belegstücke für die einzelnen Stadien des Metamorphismus, insbesondere auch die einzeln auftretenden Mineralien, zu sammeln. Wird dabei die Entfernung vom Eruptivgesteine notiert, in der jedes Stück gesammelt wurde, so wird das Material für die Untersuchung im petrographischen Laboratorium verwendbar sein. Es ist dann auch der Zusammenhang der Lagerung mit der Eruptivmasse zu untersuchen, die transversale Zerklüftung, welche das letztere vielleicht durch seitlichen Druck ausgeübt hat, die Volumenvermehrung, welche die Schichten durch die Umwandlung erfahren haben können, und eventuell die Aenderung, welche die Ver-

steinerungen erlitten haben. Ferner ist darauf zu achten, ob das Eruptivgestein selbst in dem Kontakte Aenderungen unterworfen gewesen ist. Dies ist z. B. bei Diabasen der Fall, welche zuweilen vielleicht infolge der an der Gesteinsumfassung schneller geschehenden Abkühlung an diesen Stellen ein variolithisches Gefüge angenommen haben.

Der regionale Metamorphismus ist eine weit verbreitete, aber meist sehr schwierig zu erweisende Erscheinung. Seine genauere Untersuchung erfordert scharfe Beobachtung, gute petrographische Kenntnis und geübte Kraft; um in einer den heutigen Anforderungen entsprechenden Weise ausgeführt zu werden, müssen die Beobachtungen im Felde durch exakte Studien im petrographischen Laboratorium ergänzt werden. Auf Reisen kommt es darauf an, für die letzteren verwertbares Material zu sammeln und gewisse allgemeine Thatsachen festzustellen. Nur auf diese kann hier eingegangen werden. Der Zweck, den man bei diesen Forschungen im Auge hat, ist zunächst ein allgemeiner, indem es gilt, die Kategorien von Vorgängen zu erkennen, welche der Gesteinsumwandlung zu Grunde liegen, sodann ein speziellerer, indem man bestrebt ist, im einzelnen Falle einerseits das geologische Alter der metamorphisierten Ablagerungen, andererseits die Epoche und die besonderen Ursachen der Umwandlung festzusetzen. Nur auf diesen Grundlagen kann die tektonische Entwicklung eines Erdraumes erkannt werden. Es mag beispielsweise an die kristallinischen Schiefer des östlichen Griechenland und einiger Inseln des ägäischen Meeres, sowie an diejenigen, welche wesentlichen Anteil an dem Aufbaue der Küstenkordilleren von Chile und Kalifornien haben, erinnert werden. In beiden Fällen sind die Ansichten zwischen einem archaischen und einem spätmesozoischen Alter der betreffenden Gesteine geteilt. Die Entscheidung der Frage ist ein Kernpunkt für das Verständnis der Anden und wichtig für dasjenige der ägäischen Küstenländer.

Während der Kontaktmetamorphismus bei Schichtenstellungen jeder Art vorkommen kann, zeigen die vom regionalen Metamorphismus betroffenen Schichtgesteine steile Aufrichtungen, welche wohl oft stellenweise, aber sehr selten in grösserer Erstreckung von horizontaler Lagerung unterbrochen werden. Dies tritt dann am meisten hervor, wenn Sedimente gleichen Alters in einem Erdraume, wo sie tafelartig lagern, unverändert, dagegen in einem benachbarten, wo sie Aufrichtung und Faltung erlitten

haben, in weiter Ausdehnung verändert sind. Die Allgemeinheit dieser Erscheinung und ihre Beziehungen zu der Struktur der Gebirge haben im Vereine mit dem innern Gefüge der betreffenden Gesteine zu der Erkenntnis geführt, dass der regionale Metamorphismus auf dem Zusammenhange der mechanischen Vorgänge bei der Gebirgspressung und Faltung mit stofflichen Umsetzungen, d. h. molekülaren Umgestaltungen im chemisch-mineralischen Bestande, beruht. Während früher nur den letzteren Rechnung getragen wurde und eine Umwandlung ausschliesslich auf chemischem Wege durch das Eindringen lösender Gewässer möglich erschien, ist das mechanische Moment besonders durch die gründlichen Untersuchungen von Heim, Baltzer, Lossen, Reusch, Johannes Lehmann und Charles Barrois klargelegt worden. Sie begegneten sich mit den experimentellen Forschungen über die Herstellung von Plastizität in verschiedenen festen Mineralstoffen durch hohen Druck allein, welche von Tresca und Spring ausgeführt wurden. Da der erforderliche Druck nur in grosser Tiefe vorhanden ist und da die metamorphischen Schiefer entweder bruchlos gefaltet sind oder die Faltung mit gleichzeitiger Bildung gleichmässig verteilter, kapillarer, mit Mineralsubstanz imprägnierter Brüche stattgefunden hat, so wurde es klar, dass der regionale Metamorphismus durch intensive Faltung, Stauchung, Pressung und Gleitung bei hochgradiger Belastung, d. h. in grosser Tiefe, stattgefunden hat und ein Vorgang der Gebirgsbildung, ist sowie dass, wo regional metamorphosierte Gesteine an der Oberfläche sichtbar sind oder von transgredierenden unveränderten Sedimenten bedeckt sind, ausserordentlich bedeutende Gesteinsmassen hinweggeführt worden sind.

Man kann den Begriff des regionalen Metamorphismus auf diejenigen Gesteine beschränken, welche nachweisbar aus sekundären Sedimentgesteinen durch Umwandlung entstanden sind; doch lässt er sich auch auf die späteren archaischen Gesteine ausdehnen, insoweit diese, wie erwähnt, aus der Umwandlung von Schichtgesteinen, welche denen des Flözgebirges ursprünglich sehr ähnlich waren, gebildet zu sein scheinen. Thut man dies, so gilt nicht mehr das gleiche für die Allgemeinheit der angedeuteten Lagerungsverhältnisse; denn die späteren archaischen Gesteine sind nicht selten in grösseren Strecken horizontal gelagert. Es ist möglich, dass bei ihnen das Emporsteigen der Isogeothermen infolge der Ueberlagerung durch sehr

mächtige Sedimentmassen, daher das Zusammenwirken von Wärme und hoher Belastung zur Hervorbringung des Metamorphismus hinreichend gewesen ist, da die dynamischen Wirkungen lateralen Druckes nicht immer bei ihnen angenommen werden können.

Ein neues Moment kam in die Theorien über die Entstehungsart der kristallinischen Schiefer durch die Forschungen von Reusch über solche von silurischem und diejenigen von Johannes Lehmann über solche von archaischem Alter. Ersterer fand bei Bergen Schiefer, Sandsteine und Konglomerate des Silur, ebenso wie gleichförmig eingelagerte Massen von Eruptivgesteinen, bei Anwesenheit deutlicher Merkmale von Streckung, Stauchung, Verschiebung, Gleitung und starken Druckwirkungen gleichmässig in kristallinische Schiefer umgewandelt. Klastische Gesteine sind in Gneis und Granulit verwandelt, Diorit in Dioritschiefer, Granit in Gneis. Entsprechend sind in anderen Gegenden schieferige und flaserige Gesteine von der Struktur der Porphyre (sogenannte Porphyroide) gefunden und als Porphyre, welche durch Druck die schieferige Anordnung erhielten, erklärt worden. Lehmann hat der Theorie des mechanischen Metamorphismus der Eruptivgesteine durch Streckung unter grossem Drucke in seinem hervorragenden Werke „Untersuchungen über die Entstehung der altkristallinischen Schiefergesteine“ (Bonn 1884) eine weitere Ausdehnung gegeben. Die Uebergangsstufen des Granites durch Mikrogranit und Granulit in Felsitporphyr haben nach ihm ihre Parallelreihe in den Gneisen, welche entweder unmittelbar als solche erstarrten oder durch Streckung ihre schieferige und flaserige Struktur erhielten. In derselben Weise können nach seinen Forschungen andere grosskristallinische Gesteine in schieferige übergeführt werden, wobei die letztere Struktur zuweilen sehr vollkommen wird. Andere Schiefergesteine (insbesondere Biotitgneis, Kordieritgneis, Granatgneis) erklärt derselbe durch Injektion von granitischen und anderen eruptiven Magmen. Die Intensität der Gleitung lässt sich an kollateralen Erscheinungen beobachten, z. B. an der Streckung der in Gneis verwandelten Konglomerate, wobei die Gerölle zu Lamellen und flächenartigen Ausbreitungen ausgewalzt sind.

c. *Beobachtungen über kristallinische Schiefer im allgemeinen.*

§ 229. Die archaischen, ebenso wie die aus dem Metamorphismus sekundärer Sedimentgesteine hervorgegangenen kristallinischen Schiefer setzen teils getrennt, teils in engster und durch sorg-

samste Forschung kaum lösbarer Vereinigung den Felsbau ausgedehnter Erdräume für sich allein zusammen und veranlassen häufig den Charakter einer Landschaft. Sie bilden die gewaltigsten Gipfelzonen in den meisten grossen Kettengebirgen, und gewöhnlich ist in diesen die Hauptwasserscheide an sie gebunden. Es bestehen aus ihnen zum grossen Teile die Centralzonen der Alpen, die höchsten Kämme des Himalaya, des Kwenlun und der Anden. In Kanada, in Skandinavien, in Indien, in Brasilien, im nordöstlichen China, an der westlichen und östlichen Umrandung der Südhälfte von Afrika bilden sie ein in grossen Flächen entblösstes, in anderen weiten Strecken von unveränderten Schichtgesteinen überlagertes Grundgebirge, dessen sanfte, oft von scharf eingeschnittenen Thälern unterbrochene Formen in scharfem Kontraste zu den wilden Graten und zackigen Kämmen stehen, welche denselben Gesteinen in den Hochgebirgen eigentümlich sind.

Die Beobachtung kann sich innerhalb verschiedener Gradabstufungen halten. Schon die Feststellung der Anwesenheit und Verbreitung von kristallinischen Schiefern innerhalb gewisser Grenzen entlang dem Reisewege ist ein beachtenswertes Resultat. Man sollte aber auch anzugeben suchen, welche besondere Gesteine allein herrschen oder vorwalten, und dieselben durch gut gewählte Belegstücke zur Darstellung bringen. Leicht ist es, die Züge von kristallinischem Kalke oder Marmor zu beachten, welche den Gneisen oder Glimmerschiefern oder anderen Gesteinen eingeschaltet sind; auch kann man manche accessorische Mineralien, wie Granat, Staurolith und andere, ohne Schwierigkeit erkennen und bestimmen. Wo Gänge von Granit, Pegmatit (oder Schriftgranit, der häufig Turmalin führt) oder Quarz vorkommen, sollte die Beobachtung darauf gerichtet sein, ob sie untereinander ein analoges (und welches) Streichen verfolgen.

Eine andere Klasse von Beobachtungen bezieht sich auf die Lagerungsverhältnisse. Die Hauptrichtungen des Streichens und Fallens sollten in allen Fällen möglichst häufig bestimmt werden. Sichere Aufschlüsse über die Lagerung kann man aber nur von Querdurchschnitten in Wasserrissen, Schluchten und Querthälern erwarten, an denen die Gebirge der kristallinischen Schiefer reich zu sein pflegen. Die Untersuchung ist ist in der Regel schwierig auszuführen; sie setzt grosse Uebung voraus und verlangt eingehendes Studium der

örtlichen Verhältnisse. Wie bei den für die Sedimentgesteine angeführten Regeln (§ 232) ist es auch hier zu empfehlen, sich mit gewissen besonders charakteristischen Schichten und Schichtfolgen so eingehend vertraut zu machen, dass man sie leicht erkennt, wenn man ihnen unter verschiedenen Lagerungsformen wieder begegnet. An ihrer Hand wird es am besten gelingen, eine Vorstellung von den stattgehabten Biegungen, Brüchen, Verwerfungen und Ueberschiebungen zu gewinnen. An Stellen heftiger Stauchungen sollte man Handstücke von gebogenen und geknickten Schichten, sowie solche mit gebrochenen und gestreckten Einschlüssen sammeln, um die Untersuchung der Vorgänge des mechanischen und molekülaren Metamorphismus an den Strukturverhältnissen mit Hülfe des Mikroskopes zu ermöglichen. Die Methode des Studiums der Dynamik an der Hand dieses Instrumentes ist von neueren Forschern, insbesondere von Heim und Johannes Lehmann, mit grossem Erfolge angebahnt worden und kann nicht genug zu weiterer Anwendung empfohlen werden.

Hieran schliessen sich die Beobachtungen über die Altersbeziehungen. Von der Entwicklung archaischer Formationen gewinnt man ein allgemeines Bild, wenn man die Gesteinsfolge in grossen Gruppen von den inneren Teilen eines daraus zusammengesetzten Gebirges nach den äusseren hin festsetzt. In der Regel walten in einer ältesten grossen Gruppe die Gneise weitaus vor, in einer zweiten, jüngeren, die Glimmerschiefer, in einer dritten entweder Phyllite oder grüne schieferige Gesteine, unter denen Chloritschiefer, Hornblendeschiefer, Talkschiefer charakteristische Typen bilden. Doch sind die letzteren auch häufig mit Glimmerschiefer und Gneis eng verbunden. Es ist noch in verschiedenen Ländern zu untersuchen, ob sich die für Kanada aufgestellte Abteilung zweier grosser archaischer Epochen, nämlich der laurentischen und der huronischen, allgemeiner durchführen lässt oder ob sich nicht für einzelne Erdräume eine grössere Zahl von Bildungsepochen unterscheiden lassen, wie dies für England und Schottland in einer allerdings noch von mancher Seite bestrittenen Weise versucht worden ist. In erster Linie geben einen Anhalt dazu die grossen Transgressionen einer jüngern Abteilung über eine ältere. Wo auch nur auf beschränktem Raume glatt abgeschnittene archaische Schichtenköpfe von anderen archaischen Gebilden ungleichförmig überlagert werden, kann ein Anhalt gegeben sein, um das gleiche Verhältnis unter schwieriger erkennbaren Bedingungen wieder

zu finden. Beobachtet man dann noch eine zweite Transgression, welche jünger ist als die erste, so hat man es mit drei verschiedenen Zeitaltern zu thun; denn eine Transgression über steilstehenden Schichten bezeichnet stets einen gewaltigen Abschnitt in der Entwicklungsgeschichte, indem nach dem Absatze der Schichten des untern Teiles eine erste Periode der Zusammenfaltung und Aufstauung zu festländischen Gebirgen und eine zweite Periode der Zerstörung dieser Gebirge durch Abrasion eingetreten sein muss.

Ein archaisches Alter von Schichtgesteinen darf mit Sicherheit nur dann angenommen werden, wenn dieselben von kambrischen Gebilden, als den ältesten versteinerungsführenden, in solcher Weise überlagert werden, dass die Annahme einer Ueberschiebung der letzteren über die ersteren ausgeschlossen ist, wie es z. B. bei der horizontalen Lagerung des Kambriums auf den steilen archaischen Schichtenköpfen im nordöstlichen China der Fall ist. In jedem andern Falle, mit Ausnahme der entschiedenen Gneisgranite, ist die Möglichkeit der Entstehung aus sekundären Sedimentgesteinen durch Metamorphismus nicht ausgeschlossen. Man wird dann zunächst nach den Wahrscheinlichkeitsgründen zu suchen haben, welche entweder für das höhere oder für das jüngere Alter sprechen. Sind diejenigen für das letztere vorwiegend, wie es bei den grossen metamorphischen Hüllen der Granitmassive der Fall ist, so ist die Untersuchung auf die Feststellung des genauern Alters zu richten. Den sichersten Anhalt geben Versteinerungen, deren Spuren zwar fast immer vollständig verschwunden, aber doch in manchen Fällen, selbst in Glimmerschiefer, nachgewiesen worden sind. Man kann dann versuchen, aus der Schichtenfolge auf den ursprünglichen Charakter der veränderten Gesteine zu schliessen. Es ist überhaupt zu berücksichtigen, was oben (§ 228) über den Metamorphismus im allgemeinen gesagt worden ist.

2. Die sekundären Sedimentgesteine oder das Flözgebirge.

§ 230. Mit der Ablagerung der Schichtenfolge, in welcher das älteste nachweisbare organische Leben auftritt, beginnt die lange Reihe derjenigen geologischen Epochen, welche durch die Entwicklung der Pflanzen und Tiere mittelst unendlicher Reihen von Zwischenformen zu der heutigen Lebewelt der Erde charakterisiert sind. Da das gewaltige Agens der Abrasion die Ablagerungen des Festlandes oftmals wieder vernichtete, bieten

sich aus den ältesten Zeiten beinahe ausschliesslich, aus den späteren weitaus vorwaltend die Sedimente des Meeres heute der Beobachtung dar. Das Studium der Meerestiere liegt daher auch fast allein der Einteilung in das paläozoische, das mesozoische und das känozoische Zeitalter zu Grunde. In jeder einzelnen der Epochen, welche man innerhalb eines jeden dieser Zeitalter unterscheidet, lagerten sich in den Oceanen Sedimente von denselben oder ähnlichen Arten ab, wie sie oben (§ 189) als Gebilde der Jetztzeit und als von den Festlandsströmen und der Küstenzerstörung herstammend beschrieben worden sind, insbesondere die mehr oder weniger stark gerollten groben Bruchstücke der durch Abrasion zertrümmerten Massen, der Sand, die aus der Zerreibung und Zersetzung der Feldspatgesteine hervorgehenden thonigen Massen, die Auswurfsprodukte übermeerischer und untermeerischer Vulkane, dazu die kleinen und grossen Gehäuse der Kalk- und Kieselerde absondernden Tiere. Es entstanden durch Verhärtung mittelst Cementation, chemischer Umwandlung und Druck: Psephite oder Konglomerate, Psammite oder Sandsteine, Pelite oder thonige Sedimentgesteine, vulkanische Tuffe und Kalksteine von grösserer oder geringerer Reinheit.

Diese wenigen Gesteine, welche in Zusammensetzung, Korngrösse, Farbe, Mächtigkeit der einzelnen Schichten, Festigkeit, Gehalt an fremdartigen Einschlüssen, zu denen die Reste von Pflanzen und Tieren gehören und nach anderen Beziehungen vielfachem Wechsel unterworfen sind, bauen die gesamte Sedimentrinde der Erde auf. Bald ist ein einzelnes von ihnen in grosser Gleichförmigkeit Tausende von Fuss mächtig und bestimmt in grosser Erstreckung allein den Charakter einer Landschaft; bald findet eine vielfache Wechsellagerung statt, wobei gleichartige Schichten in einem Falle eine bedeutende Dicke haben, in einem andern bis zu der eines Papierblattes herabgehen können. Mit diesen Gesteinen und ihren Benennungen, wie sie die systematische Petrographie lehrt, sollte jeder weit genug vertraut sein, um bei Beschreibungen zuverlässige Bezeichnungen geben zu können: denn es ist nicht thunlich, diejenigen Sedimentgesteine, denen man auf Reisen begegnet, durch gesammelte Handstücke in auch nur annähernder Vollständigkeit zur Anschauung zu bringen. Wichtiger für die wissenschaftliche Geologie ist es, die geologische Epoche angeben zu können, welcher jedes einzelne Gestein angehört; denn das durch

die eingeschlossenen organischen Reste gegebene historische Moment ist der einzige Anhalt, um diese Ablagerungen als solche, unabhängig von ihrer Gesteinsbeschaffenheit im Einzelfalle, in einer für die ganze Erdoberfläche anwendbaren Weise zu gliedern. Die Namen und die Bedeutung der „Formationen", wie man sie bisher nannte, muss man kennen und richtig zu gebrauchen verstehen. Zur Vorbereitung für eine Reise sollte man sich mindestens die Kenntnis der Leitfossilien derjenigen Formationen, welche man zu erwarten hat, anzueignen suchen.

Den sekundären Sedimentgesteinen hat der Reisende am häufigsten zu begegnen Gelegenheit, da sie an dem Aufbaue fast aller Gebirge den hervorragendsten Anteil nehmen und manches allein zusammensetzen. Es ist, wie erwähnt, die Hauptaufgabe geologischer Forschung in einer neuen Gegend, die Grundlagen zur Feststellung des Altersverhältnisses derselben zu suchen: die Sedimentgesteine zu gliedern. Dem Anfänger erscheint sie sehr schwierig, aber gerade hier macht Uebung den Meister. Die einfache Angabe, dass in einer Gegend Kalkstein oder Sandstein oder Schiefer vorkommt, ist, wenn auch nicht wertlos, doch durchaus ungenügend. Man hat stets nach den drei Gesichtspunkten des Gesteinscharakters, des Schichtenverbandes und des geologischen Alters vorzugehen.

a. Beobachtungen über Gesteinscharakter.

§ 231. Einige kurze Hinweise mögen hier genügen. Im wesentlichen sind festzustellen:

1) Bei Sandsteinen: Farbe, Grad der Festigkeit, Grösse des Korns; ist es ein reiner Quarzsandstein oder ist er thonig oder kalkig? Wie dick sind die einzelnen Schichten? Sind die Schichtungsflächen eben oder wellig oder zeigen sie Spuren des Wellenschlages? Sind sie glimmerig? Kommen kohlige Pflanzenspuren oder schilfartige Reste vor? Hinsichtlich der Festigkeit kann jeder nach eigenen Bezeichnungen eine Skala von losem Sande bis zum harten Quarzite einführen.

2) Bei Konglomeraten: Grösse der Einschlüsse; sind dieselben kantig und eckig? Zeigen sie Spuren der Abnutzung oder sind sie, was gewöhnlich der Fall ist, vollkommen gerollt? Sind sie, wenn dies zutrifft, scheibenförmig oder eiförmig, in die Länge gezogen oder in allen Dimensionen gleich? Woraus bestehen die Rollstücke, aus einer Gesteinsart oder aus mehreren, und welches sind diese? Lassen sich die betreffenden

Gesteine in der Nachbarschaft anstehend finden? Dies ist ein wichtiger Punkt, da das Konglomerat jünger ist als die Felsarten, von denen es Bruchstücke enthält und aus dem Fehlen gewisser Gesteine unter den Einschlüssen oft geschlossen werden kann, dass es älterer Entstehung ist als jene. Sind hingegen einzelne der in den Einschlüssen vorkommenden Gesteine in der Umgegend nicht anstehend, so ist den Vermutungen über ihre Herstammung ein weites Feld geöffnet. Sie können durch Eis transportiert sein; dies ist für mehrere Fälle angenommen worden, besonders wenn die Blöcke eine ungewöhnliche Grösse erreichen. Es ist indes zu beachten, dass grobe Konglomerate häufig die Basis transgredierender Schichtenfolgen bilden und dann ihre Erklärung durch Abrasion am nächsten liegt, dieser Vorgang aber auf die Abrasionsfläche Blöcke von Gesteinen bringen kann, welche in höherm Niveau anstehend waren und durch die Entziehung der Unterlage herabstürzten (§§ 153, 161). Man wird daher in der Annahme des Eistransportes, welche andere weittragende Voraussetzungen involviert, sehr vorsichtig sein müssen. Wenn man jedoch in sehr feinerdigen thonigen Gesteinen, welche aus Ablagerungen eines tiefern Meeres entstanden, grössere Gesteinsblöcke findet, wird man die Erklärung durch Eistransport schwer umgehen können. — Es ist ferner das die Einschlüsse bindende Cement zu untersuchen. Ist es sandig, kieselig, thonig, kalkig oder aus dem zerkleinerten Materiale benachbarter Eruptivgesteine bestehend (tuffartig)? Welches ist seine Farbe? Auch die Festigkeit des Konglomerates und die Mächtigkeit seiner Schichten sind anzugeben. Von Interesse sind Beobachtungen und Studien über geborstene Einschlüsse und die gegenseitige Verschiebung der Bruchstücke, über Quetschung und über die Eindrücke einzelner Rollsteine auf der Oberfläche anderer. Man kann diese eigentümlichen Erscheinungen an Belegstücken in jeder für Unterrichtszwecke dienenden grössern Sammlung kennen lernen.

3) Bei Schieferthonen sind ebenfalls Farbe, Korn, sandige oder kalkige Beschaffenheit, Verteilung von Glimmerblättchen auf den Schichtungsflächen zu beobachten; ferner die mehr oder weniger vollkommene und ebenflächliche Schieferung. Die Thonschiefer unterscheiden sich für die Beobachtung mit unbewaffnetem Auge durch dichteres Korn, festere Beschaffenheit, vollkommenere Schieferung (Dachschiefer, Tafelschiefer), seidenglänzendes Ansehen, Vorkommen von Einschlüssen (Eisen-

kies, Kalkspat), häufigere Durchsetzung durch Quarzschnüre; sie zerfallen oft in Griffel oder Stengel infolge einer durch Druck entstandenen zweiten (transversalen) Schieferung. Letztere ist häufig vorhanden und dann meist weit vollkommener als die der Schichtung parallele Schieferung; sie kann die letztere ganz unkenntlich machen (s. § 264).

4) Bei Kalksteinen: Farbe, Bruch, Härte, kristallinische oder dichte Textur. Bei den dichten Kalksteinen, welche für die Formationsbestimmung wichtiger sind, kommt dann weiter in Betracht: Ist das Gestein geschichtet, in dünne Lagen oder dicke Bänke? Sind die Schichtflächen eben oder wellig, oder ineinandergezackt? Liegt zwischen den Schichten schieferige Substanz? Ist der Kalkstein thonig, kieselig, dolomitisch oder bituminös? Hat er homogene Textur oder ist er oolitisch oder erdig (Kreide)? Enthält er Einschlüsse von Feuerstein oder Hornstein, und wie sind diese verteilt? Ist der Kalkstein von weissen Kalkspatadern durchsetzt? Führt er Erze, ist er zellig, neigt er zur Höhenbildung?

Aehnlich sind die Fragen, die man bei anderen, nicht so häufig vorkommenden Schichtgesteinen zu stellen hat, und von denen einige, wie die vulkanischen Tuffe, noch behandelt werden sollen.

Wenn man ein in grosser Mächtigkeit auftretendes Gestein in dieser Weise beobachtet und sich seine Eigentümlichkeiten eingeprägt hat, ist es gut, die Aufmerksamkeit auf die Oberflächenformen zu richten, welche demselben in dem gegebenen Falle eigentümlich sind. Gewisse Kalksteine und Sandsteine zeichnen sich in dieser Beziehung so aus, dass man ihre Verbreitung häufig von weitem erkennen kann. Doch gehört grosse Uebung dazu, um mit Vertrauen zu Werke gehen zu können. Der Reisende, welcher im Landschaftszeichnen Fertigkeit besitzt, sollte sich die getreue Wiedergabe des für die einzelnen Gesteine charakteristischen landschaftlichen Elementes angelegen sein lassen.

b. Beobachtungen über Schichtenverband.

§ 232. Die Angabe der äusseren Eigenschaften ist zur Charakterisierung nicht hinreichend. Denn ganz gleichartige oder ähnliche Schichtgesteine treten in verschiedenen Formationen auf, und man kommt auf Fehlschlüsse, wenn man aus der Aehnlichkeit auf Identität schliesst. So bezeichnet die Zeit, als man alle

in den Alpen auftretenden Kalksteine mit dem Namen „Alpenkalk“ belegte und sie nicht weiter zu gliedern verstand, einen unreifen Standpunkt, bei welchem die Alpengeologie ein dunkles Feld blieb. Klarheit kam erst hinein, als man anfing, einzelne Kalksteine nach den Altersverhältnissen voneinander zu unterscheiden. Dies aber kann der Beobachter in einem neuen Lande von vornherein thun. Das Mittel dazu ist, nicht bloss einzelne Schichtgesteine zu unterscheiden, sondern bestrebt zu sein, gleich Schichtensysteme aufzufinden und diese als Elemente zur Vergleichung zu verwenden. Ein Schichtensystem ist ein Verband gleichmässig gelagerter Schichtgesteine von verschiedener Art. Wenn z. B. ein durch Hornsteinführung ausgezeichneter Kalkstein, dessen Hangendes und Liegendes (d. i. das darunter und das darüber Lagernde) nicht bekannt sind, eine Schiefereinlagerung von 100 Fuss Mächtigkeit und bestimmtem Charakter enthält, so bildet die Reihenfolge von unten nach oben (Kalkstein, Schiefer, Kalkstein) ein einfaches Schichtensystem. An diesem Verbande wird man den Kalkstein wie den Schiefer mit Sicherheit wiedererkennen, wenn man ihnen in nicht zu grosser Entfernung von dem ersten Orte begegnet und sie von anderen Kalksteinen und anderen Schiefern zu unterscheiden vermögen.

Je komplizierter ein Schichtensystem, desto schwieriger wird die Aufgabe, es zu entwirren, aber auch desto wichtiger. Es sind dabei stets die folgenden einfachen Regeln im Auge zu behalten: 1) Wo Schicht auf Schicht in längerer Reihenfolge übereinanderlagern, seien sie horizontal oder geneigt, da ist die tiefere (mit seltenen Ausnahmen) älter als die darüberliegende. 2) Fast alle Schichten sind ursprünglich in Ebenen abgelagert, welche von der Horizontale gar nicht oder wenig abwichen, und konnten in eine stärker geneigte Lage erst durch spätere Störung gebracht werden. 3) Wenn horizontale oder schwach einfallende Schichten stark geneigten angelagert oder deren Schichtenköpfen aufgelagert sind, so ist die Aufrichtung der geneigten Schichten zwischen den Ablagerungsperioden beider geschehen. An der Hand dieser Grundsätze sollte der Reisende (und dies kann auch dem Geübtern nicht genug anempfohlen werden) bei dem Betreten einer neuen Gegend den ersten sich darbietenden oder absichtlich aufgesuchten deutlichen und reichhaltigen Schichtenaufschluss auf das Sorgfältigste, mit dem Notizbuche in der Hand, studieren. Ausser an Flüssen, welche Schichtgebirge quer durchsetzen,

und in tief eingerissenen Querschluchten, bieten sich Gelegenheiten, wo immer man einen Teil eines Gebirges aus Schichten aufgebaut sieht, welche durch das leisten- oder mauerartige Vortreten gewisser Schichtglieder eine ungleichmässige Zusammensetzung schon von weitem erkennen lassen. Die unterste Reihe gleichartiger Schichten, z. B. diejenige eines braunen thonigen Sandsteines, bezeichne man mit einem beliebigen Buchstaben des Alphabetes (z. B. *g*), notiere ihre Mächtigkeit (z. B. 60 m) und Gesteinsbeschaffenheit und bestimme ihr Streichen und Fallen. Nun geht man aufwärts in das Hangende und fährt in der Bezeichnung der nächsten Schichten nach der Reihe des Alphabetes fort. Gleichviel ob ein Komplex gleichartiger Schichten aus einer 200 m mächtigen Folge von Kalkstein oder einer nur 10 cm dicken Schiefereinlagerung bestehe, alles wird aufgezeichnet und mit kurzen aber prägnanten Gesteinsbeschreibungen begleitet. Mit einer in dieser Weise schriftlich niedergelegten Schichtenfolge hat man schon gleich im Anfange einen Schlüssel gewonnen, den man so oft anwendet, als man einer einzelnen oder einer kleinen Reihenfolge der am ersten Platze gesehenen Schichtengruppen begegnet. Je nachdem sich am nächsten Orte andere Glieder nach oben oder unten anreihen, fährt man mit dem Alphabete nach vorwärts oder nach rückwärts fort; und nach kurzer Zeit wird man jedes bereits gesehene Gestein nicht nur sofort wieder erkennen, sondern auch wissen, welches Glied in der Reihe es bildet und welche anderen man zunächst darüber oder darunter zu erwarten hat. Zugleich werden sich in der Reihenfolge allmählich Aenderungen einstellen, die sofort beschrieben werden müssen. Kommt man aber, vielleicht nachdem man ein Thal überschritten hat, zu einer Schichtfolge, die mit der frühern keine Aehnlichkeit hat und also einer jüngern oder ältern Formation angehört, so suche man so bald als möglich sich auch für diese in der eben beschriebenen Weise einen Schlüssel zu verschaffen. Man wird dann auch die zweite Reihe zu verfolgen und an ihren untergeordnetsten Gliedern wieder zu erkennen vermögen und an einem dritten Orte entdecken, ob sie über oder unter der ersten lagert, d. h. ob sie jünger oder älter als diese ist. In ähnlicher Weise fahre man weiter fort. Dabei ist es gut, von vornherein Benennungen für sehr ausgezeichnete Schichtengruppen (z. B. eine solche, in welcher gewisse rote Schieferthone oder grünliche Sandsteine bei allem sonstigen Wechsel stets wieder-

kehren), oder für besonders mächtige und charakteristische Formationsglieder (z. B. einen Kalkstein von einer gewissen Mächtigkeit, der sich vor anderen Kalksteinen durch bituminöse Beschaffenheit auszeichnet) nur für den Gebrauch im eigenen Tagebuche, einzuführen und zwar am besten nach Lokalitäten; also z. B. der schwarze Kalk (*m*) vom Ort A, der rote Schiefer (*h*) vom Berg L u. s. f. So wird nach und nach eine kleine Geologie der Gegend erwachsen mit einer zunächst ausschliesslich für sie geltenden Terminologie.

Nicht immer bieten sich so günstige Verhältnisse, dass man vollständige Schichtenreihen gleich auffinden und verzeichnen kann. Dann muss man fragmentarische Beobachtungen sammeln, aus denen sich nach und nach das Vollendetere entwickelt. Dies lässt sich am besten an einem Beispiele zeigen. Aus einem Thalboden kommt man häufig zu einem einzeln aufragenden Hügel oder einem kleinen Hügelzuge, der aus einer einzigen Gesteinsart besteht. Es sind besonders die härteren, welche bei der allgemeinen Erosion in dieser Weise zurückgelassen werden, z. B. die verhärteten reinen Quarzsandsteine oder Quarzite. Man bestimmt das Streichen und Fallen der Schichten dieses Gesteines. Daraus zeigt sich, wo die tiefsten derselben zu suchen sind; und an der betreffenden Stelle wird es wahrscheinlich gelingen, das Liegende des Quarzites, z. B. schwarze Thonschiefer, zu finden. Der Quarzit habe eine Mächtigkeit von 500 m. Es kommt nun darauf an, sein Hangendes, d. h. die ihn überlagernden Schichten, zu kennen. Das gelingt vielleicht nicht gleich, aber indem man das Problem im Auge behält, kommt man doch schliesslich an eine Stelle, wo man es lösen kann. Vielleicht zeigt es sich, dass dem Quarzite nichts regelmässig aufgelagert, sondern ein anderes Schichtensystem in solcher Weise angelagert ist, dass es sich deutlich als jünger erweist, sodass man schliessen muss, es habe sich in einer Periode, als der Quarzit bereits ein Riff bildete, abgelagert. Nun wird man beim Weiterreisen die erste Schichtenfolge vom Quarzit und Schiefer abwärts zu verfolgen und die jüngere nach allen Dimensionen zu erforschen haben.

Der Laie sollte, wie es der Fachmann thut, alle Beobachtungen über Schichtung sogleich graphisch darstellen. Wenige Linien drücken das Verhältnis besser aus als eine lange Beschreibung. Die gebräuchliche Art der Darstellung besteht in der genauen Einzeichnung der Einfalls-

linien auf einer senkrechten Ebene, die man sich rechtwinklig zur Streichrichtung der Schichten gelegt denkt. Durch ihre vollständige Zusammenstellung entlang eines Abhanges oder über einen Gebirgszug hinweg erhält man das „geologische Profil", das, wenn mit Sorgfalt gezeichnet, den Bau eines Gebirges am klarsten zum Ausdrucke bringt.

Nichts schützt mehr vor falschen Schlüssen über den Gebirgsbau und ist förderlicher für die richtige Vorstellung von demselben als die sorgfältige und unablässige Aufzeichnung solcher Schichtenprofile mit genauer Angabe von Streichen und Fallen. Wo die Erinnerung selbst nach wenigen Stunden unvollkommene und lückenhafte Ergänzungen macht, da ergiebt die graphische Darstellung von selbst das Richtige, und bei der Rückkehr von einer Reise ist nichts geeignet, das Gedächtnis in wirksamerer Weise zu unterstützen. Darum aber sind auch Schichtenprofile, die nicht mit vollkommener Exaktheit gezeichnet sind, ganz besonders im stande, irre zu führen. — Wer Beobachtung, Sammlung von Handstücken und Einzeichnung fortdauernd verbindet, der wird bald von selbst alle jene Verhältnisse entdecken, welche man in Lehrbüchern als Lagerungsformen und Schichtenstörungen beschrieben findet. Wo Schichten wellig aufgebogen sind, da ist die Streichrichtung der Falten und die beiderseitige Neigung zu notieren. Dieser Gegenstand soll in dem Abschnitte über Gebirgsbau (Kap. XV) noch ausführlicher behandelt werden.

c. Beobachtungen über das geologische Alter.

§ 233. Die stratigraphischen Beobachtungen geben über das relative Altersverhältnis der in einer abgegrenzten Gegend vorkommenden Schichtgesteine Aufschluss. Aber die Resultate erhalten ihren wahren Wert erst dann, wenn es auf Grundlage von Versteinerungen gelingt, einerseits die Stellung der einzelnen aufgefundenen Schichtensysteme in der Geschichte der Erde festzustellen, andererseits an ihrer Hand die Richtigkeit der aus den stratigraphischen Untersuchungen gezogenen Schlüsse zu prüfen und zu kontrollieren. Mit niemals nachlassender Sorgfalt sollte man nach organischen Resten suchen und jeden Anhalt, der sich in den Pflastersteinen einer Stadt, an den Pfeilern einer Brücke, in dem Baumateriale von Häusern, Mauern und Tempeln oder in Kunstprodukten bietet, benutzen, um nach dem Herstammungsorte darin gesehener Versteinerungen zu fragen

und dann den Fundort aufzusuchen. Bei der Begehung von Gebirgen sind die in § 8 angegebenen Regeln zu befolgen. Wer Uebung hat und mit Eifer sucht, der wird gewiss in irgend einer Schicht Versteinerungen finden. Einige Anhaltspunkte dazu wurden auf S. 29 gegeben. Die Stellung eines Gesteines in der ganzen Reihe der in der Gegend auftretenden Schichtgebilde sollte nach den vorhergegangenen Beobachtungen bekannt sein. Auf den Zetteln, welche den Fundort der Versteinerungen angeben, ist die Schicht genau mit Verweisung auf das Tagebuch und die Profile zu bezeichnen. Findet man dann noch Versteinerungen in anderen Schichten höher hinauf oder tiefer hinab in der Reihe, so wird sich dadurch auch das Alter aller dazwischen liegenden Schichten mit einiger Sicherheit interpolieren oder der Betrag der in den Ablagerungen vorhandenen Lücken festsetzen lassen. In Anbetracht der Wichtigkeit der Altersbestimmung muss man aus einer Schicht, von welcher man noch keine Fossilien besitzt, auch das Unbedeutendste und Unvollkommenste sammeln.

3. Die Eruptivgesteine oder Erstarrungsgesteine.

§ 234. Aeussere Merkmale. — Als Erstarrungsgesteine bezeichnet man alle diejenigen Gesteine, welche durch ihre Struktur und Zusammensetzung auf Grund gewonnener Erfahrungen erkennen lassen, dass sie in gewisser, wenn auch nicht immer genauer Analogie mit den heutigen Laven durch Erstarrung eines in schmelzflüssigem Zustande befindlich gewesenen, wesentlich aus Silikaten bestehendem Magma entstanden sind. Eruptiv werden sie deshalb genannt, weil sie aus der Tiefe gegen die Erdoberfläche hin emporgestiegen sind. Soweit man die Kanäle, in denen dies geschah, kennt, haben sie die Gestalt von Spalten, welche die verschiedensten Gesteine im allgemeinen in vertikaler Richtung durchsetzen. Die wesentlichen äusserlichen Merkmale der durch Erstarrung entstandenen Gesteine bestehen: 1) in ihrem Mangel an Schichtung, wiewohl dünnflüssige Magmen sich zuweilen in zahlreichen und sehr gleichmässigen dünneren und dickeren Lagen übereinander ausgebreitet haben und in ihrer Gesamtheit mächtige Komplexe darstellen, deren strukturelle Anordnung an Schichtung erinnert; 2) in einem bei normalster Ausbildung deutlich kristallinischen Gefüge, welches sehr feinkörnig (mikrokristallinisch) werden und durch eine Reihe von Zwischenstufen in das Glasartige übergehen

kann; 3) in der Zusammensetzung aus mehreren Mineralspecies, welche neben dem häufig vorkommenden Quarze fast ausschliesslich Silikate sind. Dieselben Eigenschaften, mit Ausnahme der glasigen Struktur und des Mangels an Schichtung, finden sich bei vielen kristallinischen Schiefern. Es wurde bereits (§ 228) erwähnt, dass die Eruptivgesteine die Charaktere der letzteren durch Streckung und Auswalzung annehmen können.

Lagerstätten. — In der Art des jetzigen Vorkommens der erstarrten Silikatgesteine giebt sich diejenige der Lagerstätten zu erkennen, welche das eruptive Magma in dem letzten Stadium vor seinem Festwerden eingenommen hat. Dieselbe kann verschieden sein.

a. Eine erste Klasse von Lagerstätten lässt sich, wie Suess wahrscheinlich zu machen gesucht hat, nur dadurch erklären, dass das Magma grosse im Innern der Erdrinde befindliche Hohlräume ausfüllte, welche im Zusammenhange mit der sein Empordringen selbst ermöglichenden Spaltenbildung und den ihr zu Grunde liegenden tektonischen Vorgängen durch Spannung oder Stauchung von Erdrindenteilen hervorgebracht wurden und tief unter der jeweiligen Oberfläche gelegen waren. Es entstanden dadurch ausgedehnte, unregelmässig gestaltete Massen, welche als Batholithe (von Suess) bezeichnet worden sind.

b. In anderen Fällen hat sich das Magma zwischen andere Gesteine, besonders zwischen geschichtete, in solcher Weise eingedrängt, dass es die darüber befindlichen emporwölbte und brod- oder kuchenförmige Massen bildete; man muss annehmen, dass sich alsdann dem seitlichen Eindringen und dem Emporheben der obern Decke ein geringerer Widerstand entgegensetzte als dem Emporsteigen des Magmas selbst zur Oberfläche. Für diese Vorkommnisse ist von Gilbert der Name Lakkolithe eingeführt worden. Sie sind, ebenso wie die Batholithe, an der Oberfläche der Erde nur dann erkennbar, wenn die auflagernde Decke entfernt worden ist.

3) Eine dritte Form des Auftretens sind die Gänge, d. h. Spaltenausfüllungen. Die Gänge durchsetzen von unten nach oben oder in seitlichen Richtungen oft in sehr unregelmässiger, dann auch wieder in regelmässiger Anordnung, manchmal einheitlich, in anderen Fällen vielfach verzweigt die verschiedensten Gesteine, sehr häufig auch die schon erstarrten Eruptivgesteine selbst. Die zu Grunde liegende Spaltenbildung

ist ein Teil der mit den Eruptionen zusammenhängenden und in ihrem Gefolge fortsetzenden tektonischen und Erstarrungsvorgänge. Die Ausfüllung geschah entweder mit unveränderten Teilen des eruptiven Magmas, welches dann zu beschleunigter Erstarrung gelangte oder mit Sekretionen aus demselben, vielleicht auch zuweilen mit umgeschmolzenem Nebengesteine. Im Gegensatze zu diesen Injektionsgängen, deren Ausfüllungsmaterial den Eruptivgesteinen zugerechnet wird, aber durch Uebergänge mit ihnen verbunden, sind diejenigen Gänge zu nennen, welche durch Ausfüllung von Spalten mit mineralischem Materiale infolge von kristallinischer Ausscheidung aus aufsteigenden wässerigen Lösungen, sowie infolge von Sublimationsvorgängen gebildet worden sind. Insofern sie im Zusammenhange mit dem Emporbringen von eruptivem Magma stehen, bilden sie nur einen Teil der Mineralgänge und erzführenden Gänge.

d. Den bisher genannten Lagerstätten im Innern der Erdrinde steht als vierte Form des Auftretens das Ueberquellen des Magmas an der Erdoberfläche und die Anhäufung von Bergen festen Gesteines auf ihr gegenüber.

e. Eine fünfte Form ist das mit explosiver Thätigkeit verbundene Emporsteigen zur Oberfläche. Dies ist das Wesen der Vulkane.

Man kann die ersten drei Formen von Lagerstätten als endogene, die beiden letzten als exogene zusammenfassen. Der Bildungsvorgang bei den ersteren ist entweder Injektion in vorgebildete Hohlräume oder Intrusion in Räume, welche sich das eingepresste Magma durch Auseinandertreiben des Gesteins selbst schuf; bei den exogenen besteht er in Ejektion an die Oberfläche der Erdrinde.

Innere Verschiedenheit. — Das Magma stammt aus der Tiefe; denn von ihr ist es aufgestiegen. Man hat zuweilen versucht, es durch Umschmelzung von Gesteinen innerhalb der äussern Sedimentrinde der Erde zu erklären. Dies kann indes nicht allgemein angenommen werden, weil sonst die Eruptivgesteine die regellose chemische Zusammensetzung der Sedimentgesteine haben müssten; doch lässt sich der angegebene Ursprung für eine Anzahl örtlich beschränkter und meist nur in Gängen auftretender Eruptivgesteine voraussetzen, für welche in der That die Abnormität in der chemischen Zusammensetzung bezeichnend ist. In den grossen und normalen Ausbruchsmassen der verschiedenen Zeitalter der Erde waltet das bereits angedeutete,

mit dem spezifischen Gewichte im Zusammenhang stehende, von Robert Bunsen entdeckte und von Sartorius in seiner Bedeutung erfasste Zahlengesetz in der chemischen Zusammensetzung. Die Gesamtheit der Gemenge derselben stellt eine durch dieses Gesetz verbundene Reihe dar, welche als ein Ausdruck für die Anordnung derselben Gemenge an ihren Ursitzen nach Tiefenzonen von der Erstarrungsoberfläche gegen das Innere der Erde hin zu betrachten ist. Jedes Eruptivgestein, mit Ausnahme jener Umschmelzungsprodukte, ist als Vertreter einer dieser konzentrischen Zonen anzusehen. Ueberträgt man die Zahlenwerte auf die letzteren, so ergiebt sich für diese das Grundgesetz, dass der Kieselsäuregehalt der das Erdinnere zusammensetzenden chemischen Gemenge von den äusseren Zonen nach den tieferen konstant abnimmt und andere Bestandteile, darunter besonders das Eisen, in derselben Richtung zunehmen. Ebenso wächst das spezifische Gewicht gegen die Tiefen hin. Die Eruptivgesteine haben, abgesehen von den wenigen Umschmelzungsprodukten, ihren ursprünglichen Sitz unterhalb der Basis der Sedimentgesteine und stellen in ihrem räumlichen Nebeneinander gewissermassen das nach aussen gekehrte Erdinnere dar. Nur so ist es zu erklären, dass die ältesten unter ihnen vorwiegend kieselsäurereich ($78-60\,\%$) und von verhältnismäsig geringem spezifischen Gewichte (2,5), die jüngsten vorwiegend kieselsäurearm ($60-40\,\%$) und spezifisch weit schwerer sind.

Ursachen der äussern Verschiedenheit. — Die sehr verschiedenartige äussere Ausbildung der Eruptivgesteine, selbst solcher, welche durch Erstarrung aus chemisch ganz gleichartigem Magma hervorgegangen sind, macht sie stets zu einem anziehenden Gegenstande der Untersuchung. Mehrfache Umstände liegen jener wechselvollen Ausgestaltung zu Grunde. Zunächst haben die Unterschiede in dem chemischen Bestande des Magmas grosse Unterschiede in den Arten der sich ausscheidenden Mineralien zur Folge gehabt. Sodann ist der Grad der Zähflüssigkeit oder Leichtflüssigkeit, in welchem die Masse sich vor dem Festwerden befand, eine sehr variable Grösse, wie es sich an den Lagerungsformen alter Gesteine und noch unmittelbarer bei den Laven der heutigen Vulkane beobachten lässt. Sodann kommt der Gehalt an Wasser in Betracht, welchen alle eruptiven Magmen besassen, dessen Rolle sich aber nur unvollkommen erkennen lässt. Wahrscheinlich ist er von

Einfluss auf den Flüssigkeitsgrad, auf die Verschiebbarkeit der Teilchen, auf die Zusammenfügung der Moleküle zu Kristallen und auf die Art des Schwebens der fertig gebildeten Kristalle in dem noch nicht erstarrten Teile des Magma gewesen.

Von grösster Bedeutung für die Art der äussern Ausbildung ist die längere oder kürzere Dauer des Abkühlungsprozesses. Wie man bei den wasserfreien Glasflüssen weiss, dass sich bei langsamer Erkaltung Kristallindividuen abscheiden, während schnelle Erstarrung glasige Textur veranlasst, so ist es auch bei den wasserhaltigen Magmen und bei denen, welche ihren Wassergehalt verloren, der Fall gewesen. Wo grosse innere Räume mit ersteren ausgefüllt waren, vollzog sich die Abkühlung allmählich innerhalb langer Zeiträume; bei kleinen Gangausfüllungen geschah die Erstarrung schnell; noch rascher konnte sie an freier Oberfläche unter der Atmosphäre oder einer Wasserdecke vor sich gehen. Auch die Druckverhältnisse mussten Einwirkungen ausüben, unter denen besonders diejenige auf das Festhalten oder das Entweichenlassen des eingeschlossenen Wassers wesentlich ist. Endlich konnte die Erstarrung entweder durch lange Zeiträume bis zu ihrer Vollendung gleichmässig vor sich gehen, oder sie konnte durch Druckentlastung, durch erneutes Fortströmen der erst in einzelnen Bestandteilen verfestigten Massen und andere Umstände Phasen der Verzögerung und der Beschleunigung durchmachen. Es konnte ein partieller Rückgang in dem Schmelzflusse stattfinden; durch Pressung und Gleitung konnten die fertig gebildeten Kristalle verschoben und zerbrochen werden. Dies sind nur einige der vielfachen Bedingungen, unter denen die Erstarrung der Eruptivgesteine sich vollzog.

§ 235. Textur. — Aus den angegebenen Ursachen erklären sich die vielfachen Unterschiede in der Textur. Als die hauptsächlichsten Ausbildungsformen derselben sind hervorzuheben: der granitische, der porphyrische, der trachytische und der glasartige Typus. Doch sind einerseits diese durch Uebergangsstufen (zu granitoporphyrischer, porphyrotrachytischer und selbst granitotrachytischer Textur) miteinander verbunden, andererseits sind sie nicht erschöpfend. Als untergeordnet, wiewohl häufig vorkommend, ist noch die entweder blasige oder schaumige Aufblähung zu erwähnen, welche wahrscheinlich durch Verwandlung des in dem Magma eingeschlossenen Wassers in Dampf bei Aufhebung eines vorhanden gewesenen Druckes entstanden ist.

Bei dem granitischen Typus der Textur sind alle Bestandteile zu Mineralien zusammengetreten, welche sämtlich vollkommen und nach allen Richtungen gleichmässig, vielfach ineinandergreifend und an ihren Begrenzungsflächen sich gegenseitig störend auskristallisiert sind. Diese Art der Ausbildung deutet auf eine ungestörte Erstarrung, die in Anbetracht der umfangreichen Gesteinsmassen, welche dieselbe Struktur in allen Teilen in gleicher Ausbildung zeigen, von sehr langer Dauer gewesen muss. — Die porphyrische Textur ist dadurch ausgezeichnet, dass grössere, oft sehr vollkommen ausgebildete Kristalle eines oder mehrerer Minerale in einer Grundmasse liegen, welche wesentlich aus denselben Mineralien in weit kleineren und meist sehr kleinen Individuen besteht, zuweilen aber sich in einzelnen Teilen unter dem Mikroskope als glasig erweist. Hier kommt offenbar die zeitliche Aufeinanderfolge einer ersten Phase sehr langsamer und einer zweiten weit schnellerer Abkühlung und Erstarrung zum äusserlich sichtbaren Ausdruck. Ob die Grundmasse vollkommen mikrogranitische oder teilweise glasige Textur annahm, scheint wesentlich von der Dauer der Zeit, welche der Erstarrung in der zweiten Phase gewährt war, abgehangen zu haben. Es dürften sich selbst drei verschiedene Stadien in manchen Fällen unterscheiden lassen. — Bei der trachytischen Textur ist ebenfalls eine feinkörnig-kristallinische Grundmasse vorhanden; aber glasig gebliebene Teile fehlen nie, werden wesentlich und können dem Gesteine den Charakter geben. Häufig ist das Gefüge stark porös und rissig, wodurch die Bruchflächen ein rauhes Ansehen erhalten. Meist sind, wie bei der porphyrischen Textur, einzelne Mineralien in grösseren Kristallen ausgeschieden, aber häufig fehlen sie. Sie deuten eine erste Erstarrungsphase an. Die die letzte Phase bezeichnende glasige Masse zeigt häufig unter dem Mikroskope, oft auch mit unbewaffnetem Auge erkennbar, ein geflossenes Aussehen, die sogenannte Fluidalstruktur. Die Kristalle fügen sich der fluidalen Anordnung.

Beziehungen zwischen Lagerstätten und Textur. — Je mehr die geologische Forschung fortgeschritten ist, desto klarer hat sich ein Zusammenhang zwischen den vorhin beschriebenen Arten der Lagerstätten und den durch die Petrographie enthüllten Arten der Textur, d. h. den äusseren Kennzeichen der Erstarrungsvorgänge, herausgestellt. Dadurch wird die Textur zu einem geologischen Momente von

hervorragender Wichtigkeit. Die Annahme gewinnt an Boden, dass alle Gesteine mit granitischer Textur, vielleicht mit Ausschluss der ältesten, deren Entstehungsart unbekannt ist, in bedeutenden Tiefen unter der Erdoberfläche verfestigt worden sind. Sie sind entweder Ausfüllungen grosser zusammenhängender Räume oder gangartige Verzweigungen von solchen Ausfüllungsmassen aus. Man findet sie als Kernteile von Gebirgen in solcher Weise, dass ihre eigene Basis fast niemals sichtbar wird, die Hüllen aber durch ihre Lagerung Zeugnis geben, dass sie die Ueberreste ehemals hochaufragender und im Laufe der Zeit abgetragener Gebirge sind, welche die granitischen Kerne hoch überwölbten. Die porphyrischen Gesteine zeigen ein solches Verhältnis nicht. Man kennt die Basis, auf welcher sie ruhen, in so vielen Fällen, dass man sie auch in allen anderen nicht in grosser Tiefe vermuten darf. Als sie an die Lagerstätte gelangten, an denen man sie jetzt findet, waren die grossen, wohlausgebildeten Kristalle längst ausgeschieden, die Grundmasse aber noch flüssig. Die in ihrer letzten Erstarrungsphase begriffenen Anhäufungen befanden sich schon damals entweder frei an der Oberfläche, teils des Festlandes, teils des Meeresbodens oder sie waren als Lakkolithe von Schichtmassen überwölbt, welche eine verhältnismässig geringe Belastung bildeten. Die porphyrische Struktur ist auch an Apophysen des Granites gefunden worden, welche durch Eindringen in nicht erhitztes Gestein eine schnelle Erstarrung erfuhren. Die trachytische Textur kennt man ausschliesslich an solchen Gesteinen, welche an der Oberfläche der Erde erstarrten.

Man darf voraussetzen, dass zu jeder Zeit, wenn ein eruptives Magma von tieferen nach höheren Regionen innerhalb der Erdrinde emporstieg, verschiedene Teile desselben entweder alle oder einzelne der genannten Arten von Lagerstätten eingenommen haben und somit den verschiedenen Bedingungen der Erstarrung, nämlich entweder einer langsamen und gleichmässigen oder einer im Anfange langsamen und nachher beschleunigten oder einer durchwegs rasch verlaufenden ausgesetzt gewesen sind. Das Empordringen bis zur Oberfläche sollte sich in den frühesten Zeiten, als die Sedimentrinde eine geringe Dicke hatte, in reichstem Masse vollzogen haben. Aber gerade aus den archaischen und älteren paläozoischen Epochen kennt man fast nur die granitischen Gesteine. Sie sind durch

dieselben denudierenden und abradierenden Agentien, welche die durch Erstarrung an der Erdoberfläche oder in geringer Tiefe unter ihr verfestigten Gesteine zerstört haben, blossgelegt worden. Die Ueberreste von Eruptivgesteinen der letztgenannten Art sind insbesondere unter den Bestandteilen solcher Sedimentgesteine zu suchen, welche aus Tuffablagerungen jener Zeitalter entstanden sind, und diesen ist daher hervorragende Aufmerksamkeit zu widmen. Steigt man herab in die Gebilde jüngerer Zeitalter, so bieten sich der Beobachtung in mehr und mehr ausschliessender Weise solche Eruptivgesteine dar, welche an der Erdoberfläche oder als Lakkolithe geringer Tiefen mit porphyrischer Textur erstarrten; die granitischen Ausbildungsformen derselben Zeitalter treten in entsprechendem Masse zurück. Denn nur selten ist die Zerstörung bis auf dieselben herabgegangen, während gleichzeitig der Zeitraum, während dessen die exogenen Eruptivgesteine der Denudation erliegen konnten, immer kürzer wird. In grosser Masse finden sich diese zuerst in der Epoche des Rotliegenden, in manchen Gegenden auch in derjenigen der Trias. Sie haben den porphyrischen Typus. Nur stellenweise zeigt sich daneben granitische und eben so selten trachytische Textur. In der Kreideepoche beginnen noch mit stark porphyrischem Typus die Vorläufer der die ganzen Erde umfassenden grossen Eruptionsperiode der Tertiärzeit, welche in unserer Zeit ihre Nachwehen hat. Es folgen ihnen in grosser Mannigfaltigkeit Gesteine, in denen die trachytische Textur typisch wird. Aus dieser Zeit kennen wir die Tiefengesteine noch nicht mit Sicherheit; aber wir dürfen annehmen, dass dasselbe Magma, welches an der Oberfläche zu Rhyolithen, Andesiten und Basalten erstarrt ist, in grossen Erdtiefen bei ungestörter Erkaltung die granitische Textur der Syenite, Diorite und Diabase angenommen hat; denn das Magma hat nach Beschaffenheit und Zusammensetzung in älteren und neueren Zeiten wahrscheinlich gar nicht oder wenig gewechselt; die Unterschiede seiner Ausbildung zu Gesteinen beruhen in den Erstarrungsvorgängen.

§ 236. Systematik. — Gleichzeitig mit der allmählichen Entwicklung dieser Anschauungen an Stelle der früheren hat die Systematik der Eruptivgesteine gewisse Wandlungen erfahren. Aus der Beobachtung des Vorkommens in der Natur und der augenfälligsten äusseren Merkmale erwachsen, wurde sie bald auf die mit unbewaffnetem Auge (makroskopisch) erkennbaren

Mineralien, die Textur und das spezifische Gewicht gegründet. Dann kam ihr die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung zu Hülfe. In neuerer Zeit hat die wachsende Exaktheit der mikroskopischen und kristallophysischen Untersuchungsmethoden zu der Erkenntnis ganzer Reihen von Gesteinstypen an Stelle von Einzeltypen der frühern Zeit und zu einem erheblichen Anwachsen der Nomenklatur geführt, während andererseits das betreffs der chemischen Zusammensetzung waltende Zahlengesetz, die durch Beobachtung und Experiment gewachsene Einsicht in die genetischen Ursachen der Texturunterschiede und die zunehmende Uebersicht der Verhältnisse des Alters und der Lagerung mehr und mehr dazu verholfen haben, den innern Zusammenhang der Eruptivgesteine auch in seiner geologischen Bedeutung zu erfassen. Es wird dadurch möglich, unter einfachen und einheitlichen oberen Gesichtspunkten die überwältigend erscheinende Mannigfaltigkeit zu gliedern und das Wesentliche vom Unwesentlichen zu scheiden. Wenn dennoch die verschiedenen Einteilungen sehr voneinander abweichen, so ist dies in dem Spielraume begründet, welcher betreffs der Rangabstufung der systematischen Prinzipien gewährt ist. Wenn man z. B., wie dies von einigen geschieht, die chemische Zusammensetzung als das oberste wählt, so erhält man eine einzige, nach dem Kieselsäuregehalt geordnete Reihe, welche nach dem Gesichtspunkte der Textur in wesentlich drei parallele Reihen zerlegt werden kann. In der Regel werden mineralische Zusammensetzung und Textur als Ausgangspunkte für die Einteilung der Eruptivgesteine angenommen. Nach beiden Gesichtspunkten ergeben sich eine Anzahl wohl charakterisierter und im allgemeinen leicht erkennbarer Haupttypen, welche durch Reihen von Zwischentypen miteinander verbunden sind, während gleichzeitig gewisse, nach anderen Richtungen abweichende Nebentypen sich um jeden einzelnen Haupttypus gruppieren. Man hat indes seit den Zeiten der ersten systematischen Versuche noch einen dritten Faktor berücksichtigen müssen, welchen man früher als den des geologischen Alters auffasste, während es den eben entwickelten heutigen Anschauungen besser entspricht, ihn als eine Funktion der Erstarrungstiefe und der Erstarrungsdauer zu betrachten. Indem man nämlich die Gesteine mit granitischer Textur in ihrem Vorkommen an die kristallinischen Schiefer und ältesten Sedimentgesteine gebunden, diejenigen mit porphyrischer Textur zwar auch schon mit den alten Formationen

vorkommend, aber überwiegend in dem Mittelalter der Erde, insbesondere in den Schlussgebilden der paläozoischen und den Anfangsgebilden der mesozoischen Aera, diejenigen mit trachytischer Textur in der Tertiärzeit kulminierend, wiewohl in der obern Kreide beginnend und bis in die Jetztzeit hineinreichend, fand, griff man zu der nahe liegenden Erklärung, dass die dreierlei Gesteinsreihen Altersphasen bezeichnen. Zugleich zeigte sich, dass die granitischen Gesteine die ganze Reihe der chemischen Gemenge von den kieselsäurereichen bis zu den basischen, aber mit ausserordentlichem Ueberwiegen der ersteren, umfasst; dass die porphyrischen und die trachytisch-basaltischen Gesteine ebenfalls, jede für sich, die ganze Reihe in sich begreifen, aber in jener die Gemenge mit mittlerm Kieselsäuregehalte, in dieser die basischen an Masse vorwalten. Indes verschwand die scharfe Sonderung nach Altersphasen, als man einerseits in alten Schichten, wenngleich sehr untergeordnet, Ueberreste exogen erstarrter Eruptivgesteine, sowie in granitischen Gängen eine porphyrische Ausbildung fand, andererseits die kristallinische Umhüllung mancher Eruptivgesteine mit granitischer Textur sich als ein metamorphosierter Mantel jüngerer, zum Teile mesozoischer Schichtgebilde erwies.

Die früher auf Altersstufen gegründete Sonderung besteht also fort, hat aber eine veränderte Erklärung und Bedeutung erhalten.

Es ist immerhin für den, welcher keine eingehendere petrographische Studien gemacht hat, nicht leicht, sich in den verschiedenen petrographischen Systemen zurecht zu finden. Wer sich nur mit den leitenden Zügen der Geologie vertraut zu machen und auf ihrer Grundlage zu forschen wünscht, sollte es sich angelegen sein lassen, einzelne Typen so genau kennen zu lernen, dass er ihre Namen mit Sicherheit anzuwenden im stande ist. Es genügt, unter den granitischen Gesteinen die Typen: Granit, Tonalit, Syenit, Diorit, Diabas und Gabbro, unter den porphyrischen: Quarzporphyr, quarzfreien Porphyr (Syenitporphyr), Quarzporphyrit, quarzfreien Porphyrit (Dioritporphyr), Augitporphyr und Melaphyr, unter den trachytisch-basaltischen Gesteinen die unten (§ 240 ff.) zu erwähnenden gut unterscheiden zu können. In der Natur findet man in gewissen Gegenden entweder nur die granitischen oder nur die porphyrischen Gesteine in einem Eruptionsbezirke vereinigt; in anderen beobachtet man beide Reihen zusammen, dann aber in

der Regel die porphyrischen (abgesehen von Gangausbildungsformen) als Erzeugnisse einer gesonderten spätern Eruptionsepoche. Granitische Gesteine kommen häufig allein, vor; porphyrische treten meist in solchen Gegenden auf, wo auch jene eine Rolle spielen.

Beobachtungen an granitischen Gesteinen.

§ 237. Der Granit ist ein Gestein, dem man stets gern begegnet. Er ist leicht erkennbar, bildet immer ein wichtiges Element im Gebirgsbaue, unterbricht oft geologische Einförmigkeit in wohlthätiger Weise und schmückt viele Landschaften mit schönen Formen. Die Festsetzung seines Auftretens und seiner Verbreitung ist an sich von Interesse. Nimmt er am Aufbaue eines Gebirges teil, so sollte man untersuchen, ob er die höchsten Kämme zusammensetzt oder ob er sie in Zonen oder in einzelnen Stöcken begleitet oder ob seine Verbreitung mit der Richtung des Gebirges in keinem erkennbaren Zusammenhange steht.

Es lassen sich zwei ganz verschiedene Formen unterscheiden, in denen der Granit auftritt. Die erste ist in engem Verbande mit Gneis, sodass beide Gesteine nicht nur ineinander übergehen, sondern ein einziges, örtlich variierendes Gestein zu bilden scheinen. Die Glimmerblättchen, die im Granite regellos zerstreut sind, ordnen sich in Flasern, deren Parallelismus bald nur an einer grössern Fläche schwach hervortritt, bald zu vollkommener Ausbildung gelangt. Die Uebergänge wechseln manchmal in kleinen Zwischenräumen. Dies ist der vorher genannte Gneisgranit oder Urgranit. Er ist überall, wo man ihn beobachtet hat, als das älteste Gebilde der betreffenden Gegend erkannt worden. Wo ein Gebirgskamm aus ihm besteht, nimmt er kühne zackige Formen an, wie der Urgneis selbst. — Aller andere Granit giebt durch die Art seines Auftretens zu erkennen, dass er eruptiver Natur und in die Räume zwischen anderm Gesteine eingedrungen ist. Er bildet breite Ausfüllungen zwischen den zerborstenen Schollen des Sedimentgebirges, setzt die Kerne von Bergen zusammen, deren Flanken aus kristallinischen Schiefern bestehen, nimmt die Form sogenannter Stöcke (d. h. unregelmässiger, aus unbestimmbarer Tiefe abnorm durch die Schichtgebirge durchgreifender Massen von verschiedenster Gestalt) an und tritt in Gängen von zuweilen

sehr bedeutender Mächtigkeit auf. Wo er in Bergen aufragt, hat er nicht selten eine dem Abschnitte einer Kugel oder eines Ellipsoids vergleichbare, flach gewölbte Oberfläche. Ist ein solcher Stock durch eine niedergehende Felswand in seinem Innern aufgeschlossen, so sieht man eine Anordnung in konzentrische Schalen, die mehr oder weniger scharf voneinander abgesondert sind. Wo an Stellen dieser Art Steinbruchsarbeit stattfindet oder der Spaltenfrost intensive Wirkung ausgeübt hat, erkennt man meist noch ausserdem das Vorhandensein zweier Kluftrichtungen, die senkrecht auf den Schalenflächen und rechtwinklig zueinander gerichtet sind. Es scheint in der That, dass flache Wölbung und die Ausbildung von drei Kluftrichtungen infolge der Kontraktion typische Eigenschaften der eruptiven Granite sind. Ragt ein Massiv frei auf, so wirken die entlang den Kluftflächen fortarbeitende Verwitterung, die Erosion und unter Umständen der Spaltenfrost zusammen, um einzelne Schalen in Blöcke von mehr oder weniger kubischer Gestalt zu zerlegen. Die Felsmassen nehmen durch die entlang den Hauptklüften am stärksten fortschreitende und gleichzeitig in allen erreichbaren Fugen arbeitende Verwitterung, sowie durch das Zusammensinken und Herabstürzen der ihrer Unterlage beraubten Trümmer die in § 46 beschriebenen abenteuerlichen Gestalten an, welche von den scharfkantigen Kämmen des Urgranits verschieden sind und sich im grossen durch plumpere, mehr gerundete, im kleinen durch kastellartige und andere, durch rechtwinkliges Zusammentreten von senkrechten und horizontalen Linien veranlasste Formen auszeichnen. Die Mannigfaltigkeit derselben wird vermehrt durch die Haufwerke grosser gerundeter Blöcke, welche bald phantastisch zu kleinen natürlichen Bauwerken aufgetürmt sind, bald zwischen sich Hohlräume lassen, die durch das Hinwegräumen von Granitgruss leicht künstlich erweitert werden können.

Der Zusammenhang zwischen der Schalenstruktur und den genannten Eigentümlichkeiten der äussern Gestalt ist in vielen Fällen klar, z. B. bei dem grossartigen Vorkommen auffallend jugendlichen Granites von der als Tonalit bekannten, durch besondere Mineralzusammensetzung charakterisierten Abänderung in der kalifornischen Sierra Nevada. Es ist wahrscheinlich, dass jene Struktur, auch wo die ehemalige äussere Oberfläche nicht mehr erkennbar ist, den eigentümlichen Gestaltungen und Umrissformen der Gebirge von eruptivem Granite zu Grunde liegt.

Dieser Frage ist ebenso Aufmerksamkeit zu schenken, wie den Ursachen der Schalenstruktur. Sie weisen auf die Erstarrung derartiger Granitmassen in geschlossenen Tiefenräumen hin. Bemerkenswert ist das häufig an jene gebundene Vorkommen von Versenkungen, welche mehrere tausend Fuss erreichen können und zuweilen die Formen der später zu nennenden Becken- und Grabenversenkungen haben. Eine solche veranlasste nach Whitney die kühnen Gestalten der Wände des Yosemitethales, und die analoge Erscheinung liegt der Trennung zweier gewaltiger Granitmassive in der Nähe von Kaulimönn an der Westgrenze von Korea zu Grunde. Angesichts dieses Umstandes, sowie der Erscheinung, dass grosse Anhäufungen eruptiver Granite zuweilen an nachweisbaren Bruchlinien jüngern Alters stehen (Brixen, Adamello, Cima d'Asta), liegt die Vermutung nahe, dass manche steil und unvermittelt aufragende Granitmasse der bei Versenkung eines Teiles stehen gebliebene Rest eines grössern Massives ist, und dass dort, wo eruptiver Granit besonders grossartig auftritt, häufig eine Tendenz zu späteren Versenkungen vorhanden gewesen ist. Viele Beispiele liessen sich hier anführen. Wo ein Granitgebirge steil auf anders gebautes Land abfällt, sollte stets auf Anzeichen von Vertikalverschiebung geachtet werden.

Unter den zahlreichen anderweitigen Gesichtspunkten, welche sich bei der Beobachtung von Granitmassiven darbieten, seien hier noch einige erwähnt. Dazu gehört das Aufsuchen der Unterlage oder überhaupt des Abschlusses nach unten. Es gehört zu den Eigentümlichkeiten des Granites, dass man ihn, trotz der grossen vertikalen Mächtigkeit, in der er oft entblösst ist, nur stellenweise, aber kaum irgendwo kontinuierlich in grösserer Erstreckung, andere Gesteine überlagernd, nachzuweisen vermochte. Man kann in der That sagen, dass seine Unterlage unbekannt ist. Darin beruht der wesentlichste Unterschied seines Vorkommens von den Lakkolithen, welche zwar dieselbe gewölbte Oberfläche haben, aber, wie es scheint, nie bis in grosse Tiefe reichen. Sodann ist das Aussenden von Gängen in das Nebengestein bemerkenswert. Sie fehlen selten. Bald sind sie gering an Zahl, aber sehr mächtig, bald in grosser Anzahl vorhanden, aber klein und vielfach verzweigt, bald ist das Nachbargestein von einem dichten Netzwerke von schmalen Schnüren und Adern durchzogen. Es ist ebensowohl der Einfluss der Erstarrung in weiteren oder engeren Spalten auf die

Ausbildung des eingedrungenen Magmas, als der Grad der Einwirkung auf das Nebengestein (§ 228) zu beachten.

Von Interesse ist in jeder Gegend das Alter des Granites. Er ist selbstverständlich jünger als jedes Gebilde, das von ihm durchsetzt worden ist, dagegen älter als jedes ihn überlagernde Sediment, welches im Kontakte eine Umwandlung nicht erfahren hat. Eine solche Ueberlagerung findet aber bei dem Granite kaum anders als auf transgredierendem Wege statt und bezeichnet eine beträchtliche Lücke in der Zeit zwischen seiner Erstarrung und der Ablagerung des Sedimentes. Verhältnismässig selten erweisen sich Granite auf Grund transgredierender Ueberlagerung durch unveränderte kambrische Schichten als sicher von archaischem Alter, wie z. B. im nördlichen China, wo ausserdem mehrere spätere Eruptionsepochen des Granites bis zum Karbon nachweisbar sind. In Europa haben Granite häufig an Gesteinen von silurischem und devonischem Alter Kontaktmetamorphismus hervorgerufen; im Felsgebirge und der Sierra Nevada scheinen sie solche aus der Juraepoche verändert zu haben. Die Feststellung der Altersverhältnisse der metamorphosierten Sedimentgesteine und der Granitausbrüche gehört zu den wichtigen, aber auch schwierigen Aufgaben des Geologen.

Das Studium der Kontakthülle kann dazu führen, das Vorkommen des Granites voraussetzen zu dürfen, wo man ihn nicht unmittelbar beobachten kann, und ihn eventuell nachher in einem Aufschlusse unter den Kontaktgebilden nachzuweisen, wie dies durch v. Lasaulx am hohen Venn, durch Löwl im westlichen Böhmen geschehen ist. Am genauesten sind die Kontakthüllen im Erzgebirge untersucht worden, wo man deren eine grössere Anzahl kennt. Sie zeichnen sich an der Oberfläche in grossen elliptischen Durchschnitten; einige lassen den flachgewölbten Granitkörper darunter erkennen, bei anderen ist er verborgen.

Wo grosse Granitmassive durch steile Wände aufgeschlossen sind, sollte man nicht unterlassen, die petrographischen Abänderungen zu untersuchen. Zunächst ist die Untersuchung auf die von Reyer beobachteten Schlieren zu richten, d. h. verschiedene konzentrisch angeordnete, aber ineinander verlaufende Ausbildungsformen und petrographische Abänderungen des Gesteines, welche der genannte Beobachter durch das stetig wiederholte Nachdringen von eruptivem Magma in den Kern der bereits vorhandenen Masse und das Auseinandertreiben der letztern infolge dieses Vorganges erklärt. Die Richtigkeit

dieser Auffassung hat an Wahrscheinlichkeit gewonnen, seitdem Spring bei der Pressung fester, unter sehr hohem Drucke Plastizität annehmender Massen durch enge Oeffnungen eine ähnliche innere Anordnung, wie sie hier vorausgesetzt wird, gefunden hat. Sollte sie bei Graniten und anderen Ausbruchsgesteinen durch fernere Beobachtungen erwiesen werden, so würde dies von Wichtigkeit für die mechanische Erklärung der Eruptionen als eines Vorganges von langer Dauer und allmählicher Wirkung nach aussen sein. Die Schlierenstruktur ist auch von Bedeutung als Argument gegen die seit Hutton, Babbage und Herschel mehrfach vertretene Ansicht, dass die Granite im allgemeinen durch Umschmelzung von Sedimentgesteinen mittelst des Aufsteigens der Chthonisothermen entstanden seien; denn wenn dies richtig wäre, so müssten Abänderungen vielfach vorhanden und in parallelen Zonen angeordnet sein. — Manche petrographische Besonderheiten nach Textur und Mineralbestand bieten auch die Ganggesteine, welche zum Teile den Granit selbst durchsetzen, zum Teile im Nebengesteine auftreten.

Andere Beobachtungen betreffen die Gesamtheit der Erzeugnisse eines Ausbruchsherdes. Man findet nämlich in der Regel eine gewisse, bald enger, bald weiter begrenzte, bald unregelmässig gestaltete, bald zonenartig gestreckte Region durch grosse Massen granitischer Gesteine ausgezeichnet, andere Regionen daneben aber frei davon. Gewöhnlich ist ein kieselsäurereiches Gestein, wie Granit, Granitit, Tonalit oder Syenit, weitaus vorherrschend. Daneben finden sich Diorite und grosskristallinisch erstarrte basische Magmen, wie Gabbro und Hypersthenfels. Es sind dann die gegenseitigen Altersverhältnisse dieser einzelnen Glieder festzustellen. Unter den Ganggesteinen, welche nicht nur den Granit, sondern auch die kristallinischen Schiefer der Umgebung häufig in einer grossen Zahl von Gängen durchsetzen, sind Pegmatit und Quarz besonders zu nennen. Der letztere kann zur Altersbestimmung verwendet werden, falls der Zusammenhang der von ihm erfüllten Gänge mit dem Ausbruche des Granites erwiesen werden kann. Man findet dann die Schichten bis zu einer bestimmten Altersstufe hinab auch ohne sonstige wesentliche Veränderung von ihnen durchschwärmt, während in den jüngeren jede Spur von Quarzgängen fehlt. Diese Gänge sind häufig erzhaltig. In Kalifornien sind sie die eigentliche Quelle des Goldes.

Einer besondern Erwähnung verdienen die Diabase, welche sich als die vulkanischen Gesteine der paläozoischen Aera erwiesen haben. Es sind an zahlreichen Orten deckenartige Ergüsse derselben, welche viel Analogie mit denen des Basaltes haben, nachgewiesen worden. Sie wiederholen sich oft mehrfach übereinander und wechsellagern zuweilen mit Tuffablagerungen, deren Material ebenfalls den Charakter des Diabas trägt. Die Erscheinung ist umsomehr befremdend, als saure Gesteine in ähnlicher Lagerung aus den älteren Epochen dieses Zeitalters nicht nachgewiesen worden sind.

Beobachtungen an porphyrischen Gesteinen.

§ 238. In den Epochen des Perm und der Trias haben bedeutende Ausbrüche an vielen Erdstellen stattgefunden und grosse Massen von Erstarrungsgesteinen auf der damaligen Oberfläche des Festlandes sowie auf dem Boden des Meeres und ausgedehnter Binnenseen zur Ablagerung gebracht. Dieselben sind fast durchwegs porphyrisch ausgebildet. Sind auch vollkommen glasig erstarrte Gesteine selten vorhanden, so zeigen doch viele durch die glasige Textur eines Teiles der Grundmasse eine so nahe Analogie mit den jungeruptiven Gesteinen, dass man sie in Handstücken mit diesen verwechseln würde. Trotz dieser nahen Berührung haben die Gesteine der Porphyrgebirge im grossen und ganzen ihren besonderen, leicht zu erkennenden Charakter, der sie von den tertiären Eruptivgesteinen trennt. Ebenso finden sich vielfache Uebergänge zu den granitischen Gesteinen, und doch stehen sie auch deren Gesamttypus als etwas Verschiedenes und Abweichendes gegenüber. Quarzporphyre (selten granitoporphyrisch ausgebildet), Porphyrite, Augitporphyre und Melaphyre sind beinahe ausschliesslich vertreten. Wo die Ausbrüche an Küsten oder am Meeresboden geschahen, haben sich ausgedehnte Tuffschichten abgesetzt. Andere aus Zerstörungsprodukten der Porphyre bestehende Schichten deuten auf häufige Niveauschwankungen in jener Zeit und ausgiebige Zerstörung der Eruptionsmassen durch die Brandungswelle. Porphyrische Gesteine sind auch vielfach von höherm paläozoischen Alter. Andererseits findet man sie mit Ablagerungen des Lias und Jura verbunden. Dann gelten natürlich für sie die gleichen Bemerkungen. Aber die Beobachtung konzentriert sich auf sie dort, wo sie an der Schwelle des mesozoischen Zeitalters in besonders grossen Massen und grosser Mannigfaltigkeit zur

Oberfläche gelangten, vielleicht als exogene Teile desselben Magmas, welches in grösseren Tiefen zu granitischen Gesteinen erstarrte und den Metamorphismus silurischer und devonischer Schichtgebilde hervorrief.

Diejenigen Formen, in welchen die Porphyrgesteine vorwaltend auftreten, sind die von weit ausgebreiteten Decken zwischen den Schichtgesteinen, von langgestreckten, oft sehr mächtigen Gängen und Gangzügen, von grossen, mitten zwischen den Sedimentschichten aufgehäuften Kuppen, welche durch Erosion häufig freigelegt sind, und von lagerartig übereinander ausgebreiteten, zu bedeutender Mächtigkeit aufgeschichteten Massen, in denen wohlausgebildete Porphyre, Reibungsbreccien, gewaltige Gänge und tuffartige Schichtgebilde miteinander wechseln. Sie zeigen nicht selten in grossem Massstabe alle Besonderheiten, welche man bei untermeerischen Ablagerungen der Produkte jüngerer Vulkane wahrnimmt. Insbesondere stellen die Augitporphyre von Südtirol einen Herd reinster vulkanischer Thätigkeit dar. Es fehlen zwar Schuttkegel von explosiv zerkleinertem Materiale, nicht aber dieses selbst, welches in Schichten ausgebreitet ist. Zu beachten ist das häufige Vorkommen von Breccien, in denen eckige Porphyrbruchstücke durch porphyrisches Gestein verbunden sind, aber auch Bruchstücke anderer Gesteine vorkommen. Die Art der letzteren kann über Altersverhältnisse und über den Mechanismus des Vorganges Aufschluss geben. Ferner sind die ausserordentlich mächtigen Tuffmassen bemerkenswert, besonders wenn sie, wie in dem grossen Verbreitungsgebiete porphyrischer Gesteine bei Ningpo in China, gänzlich ungeschichtet sind und an senkrechten Steinbruchswänden in vertikale krummflächige Schalen von über 100 Fuss Höhe zerklüften. Von Interesse ist die Beziehung der Absonderungsform der festen Porphyre zu der Art ihrer Lagerung. Säulenförmige, plattige, kugelige und polyedrische Absonderung kommen vor.

Es ist ferner den Altersbeziehungen der einzelnen Arten der in einer Gegend innerhalb einer zusammengehörigen Eruptionsepoche aufgestiegenen porphyrischen Gesteine Rechnung zu tragen. Die gangförmigen Durchsetzungen und die zwischengelagerten Schichten geben Anhalt dazu.

Eine andere Art des Auftretens der Porphyrgesteine findet sich ausgedehnt in dem Berglande im Norden des Golfes von Petschili. Linear gestreckte, hoch aufragende Gebirgszüge sind

dort ganz aus denselben aufgebaut. In der scharfwinkligen Abzweigung sekundärer Züge von dem Hauptzuge lässt sich das Spaltensystem erkennen, über welchem die Eruptivgesteine sich auftürmten. Die Mannigfaltigkeit der Gesteine und die gangförmigen Durchsetzungen lassen auf ein lange festgesetztes, successives Emporquellen des Magmas schliessen; ob dasselbe mit explosiver Thätigkeit verbunden gewesen ist, lässt sich nicht mehr erkennen. Da gleichzeitige Meeressedimente und Tuffablagerungen fehlen, muss man annehmen, dass die Ausbrüche auf dem Festlande vor sich gingen. Eine Anordnung in Lagen ist zuweilen erkennbar, ebenso eine säulenförmige Zerklüftung in rechtem Winkel zu den Absonderungsflächen. Die Säulen zerfallen durch Querteilung in polyedrische Bruchstücke von wenig wechselnder Grösse, welche die Berggehänge teilweise bedecken. Die letzteren zeigen viele staffelartige Absätze. Die merkwürdigsten Formen bilden die Kämme, welche in einer Unzahl von Obelisken und Nadeln aufragen. Diese Porphyrgebirge sind als Gegenstand eingehender Untersuchung über innere Zusammensetzung und Ursachen der äusseren Formen zu empfehlen.

Vierzehntes Kapitel.

Beobachtungen über Vulkane und jungeruptive Gesteine.

§ 239. Wie die Vulkane der Landschaft besondern Reiz zu geben pflegen und die Phänomene ihrer Thätigkeit das Interesse jedes Beschauers fesseln, so zeichnen sich die Gegenden, in welchen sie sich erheben, im allgemeinen durch die Fülle der Motive aus, welche sie ebenso für die exakte wissenschaftliche Untersuchung, wie für die dem Reisenden gewöhnlich nur gestattete flüchtigere Beobachtung darbieten. Diese Gegenstände, soweit sie sich auf die der vulkanischen Thätigkeit zu Grunde liegende, aus dem Innern der Erde wirkende Kraft beziehen, bilden ein geschlossenes, vielfach verbundenes Ganzes und sind meist in grösserer oder geringerer Vollständigkeit auf demselben Schauplatze vereint. Sie werden daher hier gemeinsam behandelt.

Ein Vulkan ist ein Berg, welcher aus von unten nach oben in heissflüssigem Zustande emporgedrungenem und entweder teilweise oder ganz durch explosive Thätigkeit zertrümmertem Gesteinsmateriale aufgebaut ist und infolge der periklinalen Anordnung des Materials der einzelnen Ausbrüche um eine centrale Achse eine mehr oder weniger vollkommene Kegelgestalt besitzt. Der Berg kann wenige Dekameter oder mehrere Kilometer hoch sein; die Achse kann immer an derselben Stelle gewesen sein oder ihre Lage mit der Zeit ein wenig geändert haben; das Gesteinsmaterial kann insgesamt, durch Explosionen in Fragmente zertrümmert, als Schlacken, Rapilli und Asche über die Kegelfläche verteilt oder überwiegend in Gestalt von Lavaströmen auf ihr hinabgeflossen sein — dadurch werden

nebensächliche Aenderungen verursacht; die Hauptzüge sind neben dem angegebenen Ursprunge des Gesteines: die zu jeder Zeit auf einen Ort konzentrierte Ausbruchsstelle, die radiale Aufschüttung um die durch denselben Ort bezeichnete Achse, das Vorhandensein von Anzeichen einer explosiven Thätigkeit und eines in der Achse befindlichen Kraters. Thätig ist ein Vulkan, wenn sich periodisch Ausbrüche an ihm ereignen; als erloschen wird er bezeichnet, wenn solche in historischer Ueberlieferung nicht stattgefunden haben, aber Struktur und Zusammensetzung den Schluss gestatten, dass die Entstehung des Berges derjenigen der thätigen Vulkane analog gewesen ist. Zuweilen finden sich in Gasexhalationen und Quellen kochenden Wassers noch Nachwehen der frühern Thätigkeit; zuweilen sind auch solche nicht mehr vorhanden.

Neben den oft in grosser Zahl auf kleinem Areale zusammen vorkommenden erloschenen und thätigen Vulkanen finden sich in der Regel, und zwar meist in sehr viel bedeutenderer Entwicklung, Anhäufungen von Gesteinen, welche den Laven von jenen nahe verwandt sind, aber Berge und langgestreckte Gebirge gleichmässig aufbauen, in denen die Gesteine nicht periklinal, sondern einer Längsachse parallel in Zonen angeordnet, oder in Gestalt weit ausgebreiteter Tafeln abgelagert sind, und bei welchen die explosive Thätigkeit nicht als wesentliches Moment erscheint. Solche Anhäufungen sind die Erzeugnisse von Massenausbrüchen. Die Beobachtung zeigt, dass sie einer Periode eruptiver Thätigkeit von sehr langer Dauer angehören und dass das Aufwerfen von Vulkanen nur ein verhältnismässig unbedeutender, die Endphase von jener bezeichnender Vorgang ist. In vielen Fällen gelingt es, die Anfangsphase der Ausbrüche nach geologischer Zeitrechnung festzusetzen. Stellt man diese Fälle vergleichend zusammen, so gelangt man zu dem allgemeinen, wenn auch nicht ausnahmefreien Ergebnis, dass der Gesamtperiode der Eruptionen in jedem einzelnen Erdraume eine lange Periode der Ruhe vorhergegangen war, diese aber ihrerseits jenem vorher (§ 238) erwähnten Zeitalter gewaltiger Ausbrüche aus der Tiefe gefolgt war, welches in der Karbonzeit begann, in der permischen Epoche kulminierte und in derjenigen der Trias ihre sporadischen, aber stellenweise, wie in den Alpen, noch immer bedeutenden, in manchen Gegenden der östlichen und westlichen Hemisphäre selbst bis in die Juraepoche hinein dauernden Nachwehen hatte. Soweit

Anfang und Ende dieser frühern Ausbruchsperiode auseinander lagen, sind die Gebilde derselben doch, wie erwähnt, durch die räumliche Zusammengehörigkeit an jeder durch sie bezeichneten Erdstelle zu einem Ganzen verbunden. Dies gilt ebenso für die hier in Rede stehende Periode, welcher die Vulkane angehören. Sie scheint stellenweise ihre ersten Vorboten schon vor dem Ende der Kreideepoche, in den Anden von Südamerika vielleicht schon in den letzten Stadien der Juraepoche gehabt zu haben. Aber in den meisten Erdräumen sind die Epochen des Jura und der Kreide Zeiten des Mangels an unterirdischen Kraftäusserungen gewesen, während die Epoche des Tertiär in allen Kontinenten durch deren besondere Intensität ausgezeichnet war. Entweder begann die Ausbruchsthätigkeit in ihr oder sie steigerte sich in ihr, falls sie früher angefangen hatte. Jeder einzelne Herd hat seine eigentümliche Entwicklung, jeder seine besondere Zeit intensivster Aeusserung, die sich dann allmählich abschwächte. Die Schauplätze der vulkanischen Thätigkeit an der Erdoberfläche sind die nach aussen geöffneten Enden von Spaltensystemen. Diese waren grossenteils viel ausgedehnter als in der permotriadischen Zeit. Sie sind Bruchzonen, welche zum Teile Kontinente in ihrer ganzen Ausdehnung durchziehen und die meisten Herde jener ältern Ausbruchsperiode als Teile in sich begreifen.

Aus dem langen jungeruptiven Zeitalter kennt man in der östlichen Hemisphäre keine granitischen Felsarten mit Sicherheit. Diejenigen Gesteine, welche sich der Beobachtung darbieten, weichen in ihrer Gesamtheit trotz vielfach naher Berührungen und Verwandtschaften auch von den porphyrischen so weit ab, dass man sich seit dem Beginne ernster Gesteinsstudien mit besonderen Namen belegt hat, und dieselbe Trennung auch bei den jetzigen strengen systematischen Prinzipien der Petrographie im ganzen aufrecht erhalten wird. Die allgemeine Bezeichnung „vulkanische Gesteine“, unter der sie häufig vereinigt wurden, kann indessen fallen gelassen werden, einerseits, weil vulkanische Thätigkeit auch in sehr frühen Perioden der Erdgeschichte stattgefunden hat, andererseits, weil die Ausbruchsgesteine des letzten Zeitalters, wenn auch räumlich den Vulkanen der Jetztzeit nahe verbunden, doch hinsichtlich der Art ihrer Entstehung nicht auf sie beschränkt sind. Wir bedienen uns daher für die gesamte Abteilung des Namens „jungeruptive Gesteine“. Auf dem westlichen Kontinente gehören vielleicht eine Anzahl in grosser Ausdehnung aufgeschlossener granitischer Gesteine, welche

Sedimente der Juraepoche umgewandelt zu haben scheinen, dem Alter nach hierher. Nach Lagerung und Erstarrungsmodus weichen sie indes von den als Lakkolithe geringer Erdtiefen, sowie von den als externe Ausbruchsmassen auftretenden Gesteinen der Tertiärzeit so weit ab, dass sie mit den granitischen Gesteinen der verschiedenen früheren Zeitalter zu vereinigen sind. Sie beeinflussen nicht das einheitliche Band, welches dort in besonders deutlicher Weise die gesamte Reihe der an der Aussenfläche des Planeten oder in geringer Tiefe unter ihr erstarrten jüngeren Ausbruchsmassen umschlingt.

Die von den Vulkanen ausgeworfenen und ausgeströmten Gesteine haben noch eine andere, soeben angedeutete Verwandtschaftsbeziehung zu Felsarten früherer Zeitalter. Denn auch in der paläozoischen und im Beginne der mesozoischen Aera fanden Ausbruchserscheinungen statt, welche denen der heutigen Vulkane genau entsprachen. Auf diese weit zurückliegenden Vorgänge, deren mineralische Erzeugnisse tief unter den Schichtmassen vergraben sind, und welche nur dem Auge des geübten Geologen erkennbar wurde bereits hingewiesen (S. 530). Sie hängen aufs engste mit der gesamten eruptiven Thätigkeit damaliger Zeit zusammen und bilden nur einzelne Phasen in ihr. Geologisch, ebenso wie als Beobachtungsobjekt, schliessen sie sich daher dorthin viel näher an als an die Vulkane der heutigen Zeit, und die Gebilde dieser haben ihre engste Verwandtschaft mit der Gesamtheit der jungeruptiven Gesteine, an die sie sich an jeder Stelle als jüngstes Glied einer zusammengehörigen Familie anschliessen.

Es sollen im folgenden erst die an die jungeruptiven Gesteine nach Art und geologischem Auftreten, dann die an die Vulkane und an die durch sie bezeichneten Erdräume überhaupt sich knüpfenden Beobachtungen erörtert werden.

1. Haupttypen der jungeruptiven Gesteine.

§ 240. Das Material, aus welchem die Vulkane und die Gebirge von jungeruptivem Ursprunge bestehen, tritt uns nach seinen augenfälligsten, im Aggregatzustande der Massen beruhenden Merkmalen in dreifacher Gestalt entgegen, nämlich: 1) als festes homogenes Gestein, welches durch Erstarrung einer grösseren heissflüssigen Masse entstanden ist; 2) als lockeres, zuweilen aber nachträglich verfestigtes Trümmergestein, welches aus der Zertrümmerung von jenem zur Zeit

des Ausbruches oder aus der Zerstäubung heissflüssiger Massen hervorgegangen ist; 3) als Gestein von homogener Masse, welches Trümmer umschliesst und mit ihnen Breccien bildet.

Die Magmen, deren Ausbruch und Erstarrung der Existenz aller dieser Gesteine zu Grunde liegt, stellen die gesamte Reihe chemischer Gemenge vom geringsten zum höchsten Kieselsäuregehalt dar, welche für die Eruptivgesteine überhaupt charakteristisch sind; es finden sich in der Zusammensetzung hin und wieder Abweichungen von dem Reihungsgesetze, welche aber nicht hinreichen, die Bedeutung des letztern einzuschränken. Eine grosse Mannigfaltigkeit der Erscheinung wird durch die verschiedenartige Ausbildung infolge der Erstarrungsvorgänge bedingt. Für das Auge bieten die Gesteine alle Abstufungen von vollkommen glasiger durch porzellanartige (lithoidische) und steingutartige zu einer sehr feinkörnigen und selbst mässig grobkörnigen Textur, bei welcher eine vorwaltende Zusammensetzung aus kleinen Kristallen deutlich bemerkbar ist. Entweder ist das ganze Gestein nur in dieser Weise beschaffen oder es sind grössere Kristalle von einem oder mehreren Mineralien darin deutlich ausgeschieden. Die Grundmasse zeigt unter dem Mikroskope unendlich viele Abstufungen. Auf diese soll hier nur andeutungsweise eingegangen werden, da bei der Beobachtung in der freien Natur nur das makroskopische Verhalten berücksichtigt werden kann. Die zahlreichen durch Besonderheit der Struktur erkennbaren Abänderungen beruhen indes nicht allein in den verschiedenen äusserlichen Erstarrungsbedingungen, sondern auch in einer zur Zeit der Eruption verschiedenen Beschaffenheit des Magma. Wie Hopkins schon 1847 andeutete, stellen wir uns bei einem geschmolzenen Metalle vor, dass kein Teilchen von endlicher Dimension in festem Zustande bleibt, und dies gilt ebenso für geschmolzenes Glas. Bei den Lavaströmen der Vulkane hingegen besteht ein grosser Teil der Masse aus zwar kleinen, aber endlich begrenzten Teilchen, welche einzeln ihre Festigkeit behalten, während ihre relative Beweglichkeit durch andere Teile der Masse, welche einen höhern Flüssigkeitsgrad haben, unterhalten wird. Diese innere Beweglichkeit wird durch elastische Dämpfe gesteigert, welche aufwärts zu dringen suchen. Die festen Teilchen können grössere Kristalle sein, welche sich bei dem Herausstossen und Fliessen der Lava aneinander stossen und dabei abgerundet und gebrochen werden. Zwischen voll-

kommener Schmelzung und dem durch zahlreiche feste Teile bedingten breiartigen Zustande sind sehr viele Zwischenstufen möglich, welche infolge der schnellen Erstarrung der flüssigen Bestandteile nach der Eruption zum äusserlich erkennbaren Ausdrucke in der Textur kommen.

Man hat die hier in Betracht kommenden Gesteine zum Teile nach ihrer Erstarrungsmodifikation, zum Teile nach den Unterschieden ihrer mineralischen Zusammensetzung benannt; und zwar pflegt der erstere Gesichtspunkt dann leitend zu sein, wenn der zweite wegen des Mangels oder des beschränkten Auftretens ausgeschiedener Mineralien nicht angewendet werden kann.

Besondere glasige Erstarrungsmodifikationen. — Solche Abänderungen, welche durch schnelles Erstarren eines Glasflusses, wenn auch zuweilen mit Einschluss einzelner vorher gebildeter fester Kristalle, entstanden sind und daher vollkommen das Aussehen von Gläsern haben, nennt man Obsidian. Durch schaumige Aufblähung bei glasiger Textur entsteht Bimsstein; durch ein verschwommen kugeliges Gefüge, bei welchem die Erstarrungskontraktion die Absonderung sehr feiner, konzentrisch angeordneter Lamellen verursacht hat, Perlstein; durch das Eintreten der Entglasung infolge beginnender Kristallisation Lithoidit. Diese Modifikationen, welche sich den Zuständen des Glases, des Emails und des Porzellans bei künstlichen Schmelzflüssen annähernd vergleichen lassen, sind (mit Ausnahme des nur aus Rhyolithgemenge entstehenden Perlsteines) unabhängig von der chemischen Zusammensetzung. Sie können für das ganze Gestein allein und rein obwalten oder durch Einschlüsse von Kristallen, von kleineren und grösseren radialfaserigen Kugeln, den sogenannten Sphärolithen, sowie von grossen, unregelmässig blasenartig gestalteten, schalig gekammerten (an den Kammerwänden mit Kriställchen besetzten) Einschlüssen, welche als Lithophysen bezeichnet worden sind, Abänderungen erfahren. Ein an die mikroskopisch erkennbare Fluidalstruktur erinnerndes Aussehen tritt auch äusserlich häufig hervor. Dazu kommt sehr oft eine Anordnung in Lamellen, die den Eindruck von Schichtung geben und von der Dicke eines Papierblattes bis zu derjenigen von einigen Millimetern wachsen können. Sie verdicken sich um eingeschlossene Kristalle; daher machen diese das lamellare Gefüge unregelmässig. In erstaunlicher Abwechslung finden sich diese und zahlreiche andere Modifikationen von Gesteinen mit glasiger

Textur bei den kieselsäurereichen Gemengen, welche bei vollkommener Ausbildung den Rhyolithen entsprechen. Je basischer das Magma, desto einförmiger werden die glasigen und lithoidischen Abänderungen; auch treten diese und die Bimssteine in relativem Mengenverhältnisse zurück. Aus stark basischem Magma entstehen überhaupt keine Bimssteine.

Einteilung nach der Zusammensetzung. — Erst bei denjenigen Erstarrungsmodifikationen, bei welchen die Ausscheidung von Kristallen verschiedener, von den Abstufungen der chemischen Mengung abhängiger Mineralien klar erkennbar ist oder andere besondere Eigentümlichkeiten stetig vorhanden sind, tritt das Einteilungsprinzip der mineralischen Zusammensetzung für die Nomenklatur bestimmend ein. Man kann nach absteigendem Kieselsäuregehalt unterscheiden:

1) die Ordnung der Rhyolithe,
2) die Ordnung der Trachyte,
3) die Ordnung der Andesite,
4) die Ordnung der Propylite,
5) die Ordnung der Basalte.

Die Gesteine der ersten Ordnung sind hell, diejenigen der fünften schwärzlich gefärbt. In denen der anderen Ordnungen walten verschiedene Abstufungen von Mittelfarben.

a. Die Rhyolithe umfassen die Gesteine mit überschüssigem Gehalte an Kieselsäure (75—77 % im Mittel), welche daher, falls die Erstarrungsart es ermöglichte, zum Teile als kristallisierter Quarz ausgeschieden ist. Abänderungen, welche deutliche Quarzkristalle umschliessen, wurden früher „Trachytporphyr“ genannt. Für andere Ausbildungsformen existierte damals noch keine Benennung. Später (1859) wurden sämtliche den kieselsäurereichsten Stufen angehörige Gesteine unter dem Namen „Rhyolith“ zusammengefasst. Bald darauf (1861) wurde der Name „Liparit“ für eine porphyrische Varietät von den liparischen Inseln angewendet. Der Priorität und der von Anfang an umfassenderen Anwendung wegen wird hier der Name Rhyolith für die ganze Abteilung beibehalten, obgleich die Benennung Liparit zuweilen, dem sonstigen Brauche entgegen, verallgemeinert worden ist. Die Rhyolithe entsprechen als Magma, d. h. nach ihrer chemischen Zusammensetzung, den Graniten und den Quarzporphyren, und infolgedessen haben sie auch eine diesen analoge Ausbildung von Mineralbestandteilen. Sie sind hellfarbige Gesteine; weissliche, gelbliche und hellrötliche Farben- § 241.

töne walten vor. Bei porphyrischer Ausbildung können Kristalle von Quarz, Sanidin, Plagioklas, schwarzem Glimmer und Hornblende ausgeschieden sein, aber auch von Quarz allein oder von Quarz und Sanidin. Die niemals ganz fehlende Grundmasse, welche stets freie Kieselsäure enthält, besitzt bald ein mikrokristallinisches Gefüge aus den genannten Mineralien nebst beigemengter Glasmasse, bald hat sie ein geflossenes, an die verschiedensten Arten von Glas-, Email- und Porzellanflüssen erinnerndes Aussehen, bald ist sie dicht, und dann zuweilen von Quarzhärte, bald porös und schaumig. Mehrere der genannten glasigen Ausbildungsformen kommen nur als Erstarrungsmodifikationen von Rhyolithen vor; vor allem, wie erwähnt, die Perlsteine und die Einschlüsse von Lithophysen. Die mit ihnen verbundenen Bimssteine sind langfaserig und seidenglänzend. Lithoidisches Gefüge, Absonderung papierdünner Lamellen und Ausscheidung von Sphärolithen finden sich bei den Rhyolithen am häufigsten.

Selten erscheint der Rhyolith in einer granitähnlichen Ausbildung der Gemengteile (Nevadit). Der Sanidin, ein rissiges Ansehen und reichliche Glasmasse lassen ihn auch dann vom Granite leicht unterscheiden. Man glaubt einen in seinen innersten Teilen angeschmolzenen und dann rasch erstarrten Granit zu sehen. Es ist vielleicht in der Tiefe beinahe erstarrtes, mit einem Reste von zähflüssiger Substanz an die Oberfläche gelangtes und hier schnell abgekühltes Magma. Man kennt das Gestein aus dem Staate Nevada und aus Neuseeland. Es wäre von Interesse, es anderswo nachzuweisen.

Die Rhyolithe wurden in ihrer Gesamtheit erst spät erkannt, haben sich aber seitdem als eine weit verbreitete und wichtige Gesteinsgruppe erwiesen. Ungarn und Siebenbürgen, das Great Basin in Nordamerika, Neuseeland und, wie es scheint, Bolivia sind Hauptverbreitungsgebiete. Als Ausfluss alter Vulkane kennt man sie ausserdem in Island und auf den liparischen Inseln. Als Lava heutiger Vulkane ist der Rhyolith nicht beobachtet worden. Als formgebendes Glied im Gebirgsbaue tritt er am meisten im Great Basin auf; er bildet aus eigenem Schutte aufragende, mit Nadeln besetzte scharfe Kämme, weil er infolge der Erstarrungsabsonderung leicht in Trümmer zerfällt.

Es ist die Aufgabe des Reisenden, die verschiedenen Abänderungen der Rhyolithe in ihrem gegenseitigen Verbande zu untersuchen und die Lagerungsverhältnisse einer jeden von

ihnen zu beobachten. Es giebt kaum ein anderes Gestein, welches durch den Reichtum seiner Erscheinungsformen in gleichem Grade zum Sammeln von Handstücken einladet. Umsomehr muss dies mit Sorgfalt geschehen. Das Handstück sollte nicht ein zufällig angetroffenes Gestein, sondern die gut festgesetzte Lagerungsform eines nach allen geologischen Beziehungen genau untersuchten Gesteines darstellen.

b. Die Trachyte entsprechen im Kieselsäuregehalte (62—64 %) im Mittel) wie in der mineralischen Zusammensetzung den Syeniten und quarzfreien Porphyriten. Es kommen helle Farben vor, wie bei Rhyolithen, aber häufiger sind Mittelfarben von grauen und bräunlichen Tönen. Wie bei jenen, tritt eine Grundmasse häufig allein auf, aber weit öfter umschliesst sie in porphyrischer Art Kristalle, besonders grössere von Sanidin und kleinere von Plagioklas, dazu Hornblende und schwarzen Glimmer. Glasige und lithoidische Textur kommen vor, aber weit weniger als bei dem Rhyolithe. Gewöhnlich ist die Grundmasse feinkörnig, besonders in den der Oberfläche nahe befindlichen Teilen, wo ein poröses, rauhes Gefüge diesen Charakter deutlicher hervortreten lässt; das Mikroskop zeigt ihre Zusammensetzung aus Mikrokristallen der grösser ausgeschiedenen Mineralien nebst glasiger und zuweilen felsitischer Masse. § 242.

Man trifft die Trachyte als Erzeugnisse von Massenausbrüchen aus Spalten. Sie bilden dann langgezogene Rücken. Auch unter den Erzeugnissen vulkanischer Thätigkeit finden sie sich.

Ein eigentümliches Gestein ist der Phonolith, dessen chemische Zusammensetzung beinahe denselben Kieselsäuregehalt (60 %) aufweist wie die Trachyte, während der Mineralbestand der Grundmasse ein Gemenge von Sanidin und Nephelin nebst einigen andern untergeordneten Mineralien mit nur geringen Spuren von Glasmasse erkennen lässt. Unter den grösseren ausgeschiedenen Kristallen sind flache Tafeln von Sanidin an ihren glänzenden Spaltungsflächen leicht zu erkennen. Das Gestein ist fast stets von dichtem Gefüge, oft splitterig im Bruche, von dunklen Farben (grünlich braun bis grünlich grau), neigt zu plattiger, fast schieferiger Absonderung und giebt beim Anschlagen von Bruchstücken einen hellen Klang. Wie die fremdartige Zusammensetzung, so ist das Vorkommen des Phonolithes bemerkenswert. Man kennt ihn überhaupt nur in

wenigen Erdräumen, die meist in Europa liegen. In ihnen findet er sich sporadisch und wesentlich in Gestalt vereinzelter dom- oder glockenförmiger Kuppen.

§ 243. c. Die Andesite haben unter allen jungeruptiven Gesteinen nächst dem Basalte die grösste Verbreitung. Sie besitzen im wesentlichen eine dunkelgraue bis schwärzliche Farbe und entsprechen mit einem Kieselsäuregehalte von 57—60 %, der sich bei gewissen quarzhaltigen Abänderungen auf 66 % steigern kann, den Dioriten und Porphyriten, entfernen sich aber von ihnen in dem äussern Charakter. Plagioklas mit Hornblende oder Augit oder mit diesen beiden, wozu in gewissen Fällen Quarz kommt, sind die bestimmenden, in deutlich erkennbaren Kristallen ausgeschiedenen Mineralien. Sie sind in einer mikrolithischen Grundmasse eingeschlossen. Seltener fehlen sie, sodass das Gestein nur aus der letztern besteht. Zuweilen ist es als Obsidian erstarrt. Auch kommen Bimssteine vor; sie sind rundblasig, schwammig und haben eine graue oder grünliche Farbe. Man unterscheidet Hornblende-Andesite und Augit-Andesite. Die quarzführenden Abänderungen beider wurden von Stache Dacit genannt; ihr Auftreten ist in manchen Gegenden, besonders in Siebenbürgen, von Interesse und Wichtigkeit.

Die Andesite setzen linear angeordnete grosse Gebirgszüge zusammen. Dieselben bestehen grossenteils aus Reibungsbreccien und haben im ganzen sanfte, einförmige Gestalt. In feuchten Gegenden sind sie meist dicht bewaldet, da die Zersetzung einen für Baumvegetation geeigneten Boden hervorbringt. Das festere, homogene, oft plattig abgesonderte Gestein ragt stellenweise in Gestalt einzelner Kuppen über die Kammlinien auf. Es bildet mächtige Gangmassen und felsige Vorsprünge; seltener setzt es grössere Teile des Gebirges allein zusammen. Ausserdem sind Andesite als Ausbruchsmaterial von Vulkanen, besonders der älteren und bereits erloschenen, verbreitet. Bei jetzt thätigen Vulkanen walten die Augit-Andesite (früher zum Teile als Trachydolerit bezeichnet) vor den Hornblende-Andesiten vor.

§ 244. d. Die Propylite unterscheiden sich in ihrer Gesamtheit durch ihren allgemeinen Gesteinscharakter und ihre dem unbewaffneten Auge auffallenden Merkmale soweit von allen anderen jüngeren Eruptivgesteinen, dass sie selbst in einer Zeit, als man Rhyolithe, Trachyte und Andesite unter der einen Benennung „Trachyt“ zusammenfasste, von allen Beobachtern unter anderen

Namen ausgeschieden und jenen gegenübergestellt wurden. Die Wahl dieser Namen (Grünstein, Dioritporphyr, Trachydiorit, Grünsteintrachyt) deutet den engen Anschluss an, in welchem die betreffenden Gesteine zu den älteren „Grünsteinen", insbesondere zu den Dioriten, stehen, denen sie in vielen ihrer ausserordentlich zahlreichen Modifikationen zum Verwechseln ähnlich sind. Die Zugehörigkeit solcher Typen zu den Propyliten zeigt sich in ihrem geologischen Zusammenvorkommen mit anderen Typen, welche sich von den Dioriten im Aussehen entfernen, und mit welchen jene ersten zusammen eine grosse Gruppe von Gesteinen bilden, die sich gegenseitig durchsetzen und in ihrer Gesamtheit eine ganz bestimmte geologische Stellung an der zeitlichen und räumlichen Basis aller jungeruptiven Gesteine einnehmen, wie dies in § 248 näher ausgeführt werden wird. Wo sie auftreten, finden sie sich in grossen Massen, aber grossenteils verhüllt durch Andesite und Trachyte, von welchen sie durchbrochen und überlagert werden. Gewöhnlich ist die Texturausbildung porphyrisch. Die Grundmasse hat braungrüne und graugrüne Färbung; in ihr erkennt man Kristalle von mindestens einem Feldspat (aus den Plagioklasen) und Hornblende, selten auch Augit. Häufig ist die Hornblende grün und faserig, und die grüne Färbung überträgt sich auf diejenige des ganzen Gesteines. Ein besonderer Charakterzug der Propylite liegt noch in dem Umstande, dass eine Anzahl der grössten Silbererzgänge in verschiedenen Ländern darin auftreten.

Eine andere, ebenfalls äusserlich und im geologischen Auftreten erkennbare Beziehung haben die Propylite zu den Andesiten, welche ihnen stets im Alter folgen. Es finden sich zahlreiche Uebergangsstufen zwischen beiderlei Gesteinen, ein Umstand, der um so weniger überraschen kann, als in der gesamten Reihe der Eruptivgesteine, von den ältesten bis zu den jüngsten, je zwei einander benachbarte Gruppen durch solche Uebergänge verbunden sind. Sie vermögen die grosse geologische Sonderung und die augenfällige Verschiedenheit der charakteristischen Typen nicht aufzuheben.

Auch die mikroskopische Analyse hat diese Unterschiede nach Zirkels Untersuchungen scharf hervortreten lassen, was um so bemerkenswerter ist, als es wesentlich dieselben Mineralien sind, welche an dem Gemenge des Propylites und des Andesites teilnehmen. Durch den Mangel an Glasbasis und die Ausbildungsart der Hornblende zeigen auch auf diesem Wege der

Untersuchung die Propylite eine unmittelbare Annäherung an die Diorite und Dioritporphyre. Was Zirkel für amerikanische Gesteine gefunden hatte, wurde von Doelter für solche aus Ungarn bestätigt.

Im Gegensatze zu dieser Anschauung von der Selbstständigkeit des Propylites sind andere Forscher (Rosenbusch, Szabó, Wadsworth und G. F. Becker) ebenfalls auf Grund mikroskopischer Analyse zu der Ansicht gekommen, dass der Propylit zum Teile zersetzter Andesit zum Teile wirklicher Dioritporphyrit aus älterer Zeit sei, und zwei derselben (Szabó und Becker) haben ihre Folgerungen durch geologische Beobachtung gestützt. Es ist hier nicht der Ort, die Argumente für die eine und die andere Anschauung abzuwägen. Doch möge die Aufmerksamkeit reisender Geologen auf den Gegenstand gerichtet werden. Man sollte das geologische Vorkommen von Propylit und Andesit, wo sich beide finden, und besonders an solchen Orten, wo (wie an den meisten Stellen des Vorkommens in Ungarn) ältere Eruptivgesteine nicht auftreten, dagegen die Altersverhältnisse jener beiden Felsarten durch das Vorkommen gleichzeitiger Sedimente bestimmbar sind, genau festzustellen trachten. Eine Untersuchung der Zersetzungsprodukte des Andesites, sowohl der an freier Atmosphäre, als der durch die Thätigkeit von Solfataren gebildeten, wird vermutlich der Theorie der Entstehung des Propylites aus Andesit vermittelst einer nach der Festwerdung geschehenen Umwandlung kaum günstig sein. Man trifft in Andesitgebirgen viele Zersetzungsstufen. Sie sollten sorgfältig gesammelt und studiert werden. Wenn atmosphärische Agentien Propylit aus Andesit herzustellen vermöchten, so müssten die grossen Gebirgszüge des letztern mit einem Propylitmantel bedeckt sein, was nirgends der Fall ist. Sollten dagegen vulkanische Dämpfe die Umgestaltung hervorzubringen im stande sein, so müssten in den Felsmassen, welche die Andesitvulkane von Java und Ecuador aufbauen, Propylite fleckweise verteilt vorkommen. Bis jetzt sind sie dort in dieser Stellung nicht nachgewiesen worden. Sind somit diese beiden Entstehungsweisen des Propylites mit grosser Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen, so bleibt immerhin noch die Möglichkeit, dass diejenigen externen Ausbrüche, welche die neue Aera der jungeruptiven Gesteine nach vorhergegangener langer Ruheperiode einleiteten, mit gewissen, noch nicht näher zu erkennenden Vorgängen verbunden waren, die in dem

Eruptionsmagma, sei es vor seinem Ausbruche, sei es bei der Kristallisation, besondere, die Ausbildungsart der mineralischen Ausscheidungen und die Textur beeinflussende innere Umänderungen veranlassten. Ueber Ursache und Modalität der Ausbrüche ist so wenig bekannt, dass solche Vorgänge, welche dem gleichen chemischen Gemenge, bei Ausscheidung gleichartiger Mineralien, doch zwei wesentlich verschiedene Ausbildungsformen geben würden, nicht abgewiesen werden können. Vergleicht man das häufige Vorkommen von Flüssigkeitseinschlüssen in den Feldspaten und Quarzen der Propylite und ihr fast gänzliches Fehlen in den Andesiten mit dem umgekehrten Auftreten von Glasbasis, so scheint hierin ein tiefgreifender, mit dem ursprünglichen Zustande des Magma zusammenhängender Unterschied begründet zu sein; denn es dürfte wohl kaum anzunehmen sein, dass durch nachträgliche Zersetzung Flüssigkeitseinschlüsse gebildet wurden.

Der gegenwärtige Stand der Frage dürfte sich dahin bezeichnen lassen, dass einige namhafte Vertreter der strengen, aber doch wesentlich auf künstlichen Prinzipien beruhenden petrographischen Systematik in den beiderlei Gesteinen zusammengehörige, auf Gleichartigkeit der Gemengteile beruhende Modifikationen derselben Gesteinsart erblicken und die Abweichungen durch nachträgliche Umwandlung und einen dadurch entstandenen „pathologischen“ Zustand erklären, während die geologische Untersuchung äusserlich erkennbare und zeitlich wie räumlich voneinander geschiedene Typen wahrnimmt. Eine Berechtigung dürfte somit auf beiden Seiten vorhanden sein, und die Wahl der Trennung oder Vereinigung nur von dem Standpunkte abhängen, von welchem aus man die Gesteine betrachtet.

Der Beobachter der Natur steht auf dem geologischen Standpunkte. Weitere Untersuchung muss lehren, ob die Trennung sich, wie es der Verfasser auf Grund eigener Beobachtung für wahrscheinlich hält, wird aufrecht erhalten lassen. Es ist zu berücksichtigen, dass verschiedenartige Ausbildung des gleichartigen Mineralgemenges in anderen Fällen als hinreichendes Merkmal zur Unterscheidung verschiedener Gesteinstypen einstimmig anerkannt und auch hier nur die Anwendung desselben Prinzipes beansprucht wird.*)

*) Bei der Korrektur dieses Blattes geht mir die wichtige Abhandlung von A. Hague und J. Iddings *on the development of crystallization in the igneous rocks of Washoe Nevada* (Bull. U. S.

§ 245. e. Die Basalte umfassen die Reihe der basischen Gemenge unter den jungeruptiven Gesteinen und vertreten die Diabase und Augitporphyre der älteren Perioden. Es sind schwärzlich graue bis schwarze Gesteine, welche in einer Reihe von Erstarrungsmodifikationen auftreten. Eine derselben, welche ein Gemenge von deutlich erkennbaren Kristallen darstellt, wird als Dolerit bezeichnet; die feinkörnig-kristallinischen Abänderungen führen den Namen Anamesit, die dichten sind die eigentlichen Basalte.

Die mikroskopische Analyse hat zur Unterscheidung von zwei verschiedenen Gemengen geführt, in deren einem Plagioklas, Augit und Olivin die Hauptbestandteile sind, während Nephelin und Augit das andere darstellen. Man unterscheidet danach: Plagioklas-Dolerit, Anamesit und Plagioklas-Basalt als die erste, Nephelin-Dolerit und Nephelin-Basalt als die zweite Gruppe. In beiden ist ein Gehalt an Magneteisen als dunkel färbender Bestandteil wesentlich. Da indes beiderlei Gruppen äusserlich nicht zu unterscheiden sind, so genügt es, sich die drei Hauptformen der Textur einzuprägen. Die genaue Untersuchung mitgebrachter Handstücke vermag dann erst festzustellen, welcher von beiden Gruppen (zu denen als eine dritte, untergeordnete, noch die des Leucitbasaltes kommt) das gefundene Gestein angehört.

Unter den Erstarrungsmodifikationen des Basaltes ist noch zunächst die obsidianartige zu nennen, welche jedoch mit

---

Geol. Survey Nr. 17, 1885) zu. Es ist darin der Einwand, welchen Becker in seinem trefflichen grossen Werke über dieselbe Gegend gegen die Selbständigkeit des Propylites erhebt, insofern widerlegt, als bewiesen wird, dass die früher als Propylit bezeichneten Gesteine daselbst nicht zu den Eruptivgesteinen älterer Epochen gehören, wie Becker angenommen hatte, sondern tertiär, mithin den jungeruptiven Gesteinen einzureihen sind. Dass Becker sie mit den Namen „porphyrischer Diorit", „körniger Diorit" etc. bezeichnet hat, ist ein weiterer Beleg für das den alten Grünsteinen entsprechende Aussehen der in Rede stehenden Gesteine. Dennoch sind auch Hague und Iddings auf Grund sehr sorgfältiger Prüfung zu dem Schlusse gekommen, dass in Anbetracht der Analogie in den Arten der mineralischen Bestandteile, sowie mit Rücksicht auf die vielfachen Uebergangsstufen, der Propylit dem Hornblende-Andesit beizurechnen und durch Umänderung aus ihm entstanden sei. Die obigen Bedenken gegen diese vollständige Vereinigung können damit noch nicht als aufgehoben betrachtet werden. Es wird besonders darauf ankommen, in anderen Gegenden die Altersverhältnisse der dem Propylite entsprechenden Gesteine und der Andesite sorgfältig zu prüfen.

anderen Benennungen belegt wird. Die Bimssteinbildung findet unvollkommen statt, obgleich flüssige Basaltmasse zu langen feinen Glashaaren ausgezogen wird. Dagegen kommen häufig blasenartige Hohlräume in Anamesiten und Basalten vor und geben durch Auskleidung und Ausfüllung mit Mineralien Anlass zur Bildung von Mandelsteinen.

Dolerite und Anamesite sind meist porös; der Basalt zeigt ähnliche Auflockerung nahe der Oberfläche; schon in geringer Tiefe jedoch ist er kompakt und steinig. Häufig ist er aussen verschlackt.

§ 246. Vulkanische Trümmergesteine. — Zunächst den grossen festen Massen der homogenen Gesteine, welche als Lavaströme, als weit ausgebreitete Decken, als einzeln aufragende Kuppen und als ganze Gebirgszüge auftreten, sind die Trümmergesteine zu untersuchen, welche aus jenen entstanden sind, und in welchen sich daher deren Artenreihe wiederholt. Es kommen hier zunächst diejenigen in Betracht, welche als lose Auswürflinge aus Krater die Flanken der Vulkane zusammensetzen. Die herkömmlichen, den Grössenverhältnissen entnommenen Ausdrücke: vulkanische Blöcke (mehrere Fuss Durchmesser, aussen verschlackt, innen fest), vulkanische Bomben, Rapilli, vulkanischer Sand, vulkanische Asche, lernt jeder bei dem ersten Anblick auf der Lagerstätte richtig anwenden. Sie ordnen sich in der Regel nach der Grösse von dem Kraterrande gegen den Fuss des Kegels; nur die feinste Asche und insbesondere der Bimssteinsand breiten sich weit darüber hinaus aus und können vom Winde nach fernen Gegenden fortgetragen werden. Diese Materialien bilden Schichten, welche allseitig vom Kegel abfallen, und sind häufig von radial eingeschnittenen Wasserrillen durchschnitten. Sie werden leicht cementiert. An den Trümmern erloschener Vulkane kann man sie in tiefen Durchschnitten beobachten und die Natur jener daran kennen. Aus der Untersuchung der festeren Stücke lässt sich die Art des Gesteines festsetzen, das in einer gewissen Epoche vom Vulkane ausgeworfen wurde.

Eine zweite Form, in welcher Trümmergesteine erscheinen, sind die Schlammströme, welche durch das Zusammenschwemmen von Auswürflingen infolge der die Eruptionen zuweilen begleitenden wolkenbruchartigen Regengüsse oder des plötzlichen Tauens einer Decke von Schnee und Eis entstehen. Man erkennt sie an dem gänzlichen Mangel der Schichtung, an

der Menge scharfeckiger Einschlüsse von der verschiedensten Grösse, welche in dem aschenartig zerkleinerten Materiale, das die Grundmasse bildet, unregelmässig zerstreut sind; ferner an dem Umstande, dass sie die tieferen Teile ihrer Unterlage ausfüllen und oft eine bedeutende Längenerstreckung bei geringer Breite haben. Sie sind ein wichtiges Element in vulkanischen Gebirgen, und wer sie kennen gelernt hat, findet sie auch als Begleiter vulkanischer Ausbrüche in älteren Perioden. Man verwendet die vulkanischen Schlammstromgesteine wegen ihrer Lockerheit und Leichtigkeit, die sie trotz fester Cementation auszeichnet, gern zu Baumaterial. Die dritte Form des Auftretens sind die Tuffgesteine, die sich vor den vorigen durch Schichtung auszeichnen. Es sind Ablagerungen von Auswürflingen und sonstigem zur Eruptionszeit zerstörten Ausbruchsmateriale, welche unter Wasser stattfanden. Die einzelnen Bestandteile sind darin nach der Grösse in Schichten geordnet. Schlamm und Tuff variieren je nach der Art des Gesteines, aus dem sie entstanden sind.

Endlich sind diejenigen Gesteine zu erwähnen, welche in einer homogenen Erstarrungsmasse eckige Bruchstücke von Gesteinen umschliessen und zumeist als Reibungsbreccien zu bezeichnen sind. Die Trümmer sind entweder 1) gleichartig mit dem einschliessenden Gesteine, oder sie bestehen 2) aus vulkanischem Gesteine anderer Art oder 3) aus ganz fremdartigem Gesteine. — Reibungsbreccien der ersten Art sind am grossartigsten in Andesitgebirgen entwickelt und bilden zuweilen das Hauptmaterial ausgedehnter Rücken. Sie entstehen wahrscheinlich, indem die zu einer Kruste erstarrte Oberflächenschicht einer im ruhigen Zustande befindlichen heissflüssigen Masse durch neues Andrängen der letztern zerberstet und die Trümmer in den hervorbrechenden Strom eingeschlossen werden. Gesteine der zweiten Art sind bei vulkanischen Ausbruchsmassen häufig. Ihr Studium ist für die Eruptionsgeschichte wichtig, weil das eingeschlossene Bruchstück älter ist als die umschliessende Masse. — Die Gesteine der dritten Art sind von allgemeinerm Interesse und zeichnen sich zuweilen, besonders wenn die Einschlüsse aus Kalkstein bestehen, durch das Vorkommen schöner Mineralien aus. Man nimmt zu ihrer Erklärung an, dass die vulkanische Masse bei ihrem Aufwärtsdrängen Bruchstücke des Nebengesteines losriss. Die letzteren geben daher Aufschluss über den geologischen Bau der Unterlage der Vulkane.

2. Verbreitung und Tektonik.

§ 217. Es giebt grosse Regionen der Erdoberfläche, welche gänzlich frei von jungeruptiven Gesteinen sind, während man letztere in anderen Gegenden ausserordentlich verbreitet findet. Sie fehlen einzelnen Kettengebirgen und treten in andere formgebend ein. Grosse Tafelländer zeigen keine Spur davon, andere erhalten in weiten Strecken ihren Charakter durch diese Gesteine. Den grossen Tiefländern fehlen sie am meisten, mit Ausnahme ihrer Ränder. Kaum findet man sie vereinzelt, wohl aber in grossen, entweder kontinuierlichen oder unterbrochenen Zügen, in anderen Fällen, ohne erkennbare Längsstreckung, entweder in scheinbar regelloser Anordnung vieler getrennter Ausbruchsmassen oder ausgedehnte Tafelländer allein zusammensetzend. Die Züge begleiten häufig die grossen Leitlinien im Baue der Erdoberfläche, wo aus den tiefsten Teilen oceanischer Becken die Kontinentalmassive ansteigen, und dann sind sie den breiten Gebirgsrändern der letzteren aufgesetzt, so auf den Inselreihen Ostasiens und auf der langgedehnten Anschwellung der Anden. In anderen Fällen sieht man sie auf der Innenseite von Faltungsgebirgen angeordnet, teils in Linien, welche einigen Parallelismus mit deren Achsen erkennen lassen, teils in einer Reihe einzelner Bruchfelder. Wieder in anderen Fällen begleiten sie Bruchzonen, welche Faltungsgebirge quer durchsetzen, oder die Ränder von Grabenversenkungen, wie bei der Jordanfurche und derjenigen des Roten Meeres. Diese Grundlinien ihrer allgemeinen Verbreitung, zu denen noch andere kommen, lassen den Zusammenhang der Ausbrüche jungeruptiver Gesteine mit den Verschiebungen der Erdrinde erkennen, welche die gegenwärtige Konfiguration der Oberfläche derselben wesentlich bestimmt und sich in den letzten Zeitaltern ereignet haben. Auch in Betreff der Einzelverbreitung innerhalb des einen oder des andern Erdraumes hat die genaue Untersuchung häufig einen Zusammenhang mit Dislokationen ergeben. Aber es fehlt die Erklärung, weshalb grosse Verschiebungen und gebirgsbildende Vorgänge hier von Ausbrüchen begleitet, dort davon frei geblieben sind. Es fehlt überhaupt noch viel, um die Ursachen der Verbreitung zu verstehen.

Bei der geologischen Untersuchung jungeruptiver Gesteine an irgend einer Stelle ihres Auftretens liegt, mehr als bei den meisten anderen Gesteinen, die Gefahr nahe, sich durch die Mannigfaltigkeit der Einzelerscheinungen von dem Erfassen der

Verhältnisse im grossen abhalten zu lassen. Es giebt diminutive Herde der Ausbruchsthätigkeit, wo auf dem Raume einiger Quadratkilometer eine Fülle verschiedener Gesteine erscheinen, jedes eine eigene Phase in der Geschichte des kleinen Ausbruchsherdes darstellend und mit Besonderheiten betreffs der mineralischen Zusammensetzung, der Textur, der Absonderung und der Rolle im äussern Aufbaue ausgestattet. Einige von ihnen, welche überdies durch ihre bequeme Lage zur Untersuchung lockten, sind auf das genaueste studiert worden und haben die Petrographie um manche Einzeltypen bereichert. Aber man sollte nicht vergessen, dass an einem isolierten Herde die Ausbruchsthätigkeit nicht zu der vollen und freien Entwicklung gekommen ist, wie dort, wo sie grössere Erdräume umfasst, und dass in dem kleinen Laboratorium, aus welchem ihre Erzeugnisse hervorgingen, verhältnismässig viele kleine Nebenvorgänge, insbesondere Umschmelzungen, stattfinden konnten. Es sind daher auch die allgemeinen Gesetze der Aeusserung der eruptiven Thätigkeit ihnen nicht unmittelbar zu entnehmen. Diese Gesetze sind aus der Kombination der im grossen zu beobachtenden Erscheinungen abzuleiten, und es ist dann erst in zweiter Linie zu ergründen, wie die Altersfolge der Gesteine an dem kleinen Herde und andere Besonderheiten desselben sich zu den grossen und gesetzmässigen Zügen ausgedehnter, durch dieselben Gesteine charakterisierter Erdräume verhalten. Finden Abweichungen statt, so kann man wohl von Ausnahmserscheinungen reden, aber die grossen Gesetze werden damit nicht umgestossen.

Die jungeruptiven Gesteine zeigen eine Reihe von Formen interner und externer Lagerstätten.

Die internen sind: Gänge, Lakkolithe und Lagergänge. Sie wurden früher (§ 234) besprochen.

Die externen lassen sich bezeichnen als: longitudinal, pericentrisch, periklinal und tafelartig. Sie sind nicht streng geschieden, sondern durch Uebergänge und Zwischenformen miteinander verbunden.

Longitudinal sind die Kammgebirge, welche ganz aus jungeruptiven Gesteinen aufgebaut sind, wie die siebenbürgische Hargitta und das ungarische Vihorlat-Gutin-Gebirge, deren jedes über 200 km lang ist, und das Eperies-Tokayer-Gebirge, welches beinahe die Hälfte dieser Länge erreicht. Sie sind offenbar die Erzeugnisse von Ausbrüchen aus Spalten, deren Beziehungen

zu dem Gebirgsbaue in diesem Falle klar sind. Die Gesteine sind im wesentlichen zonal angeordnet. Die Spalte selbst bildet die Längsachse für die Verbreitung derselben. In anderen Fällen sind keine so kontinuierlichen Kammgebirge entstanden, man sieht nur reihenförmig angeordnete Massen von Eruptivgesteinen; und es kommt vor, dass eine einzige, wenig ausgedehnte Masse mit einer Längsachse der alleinige Repräsentant einer Ausbruchsspalte ist.

Als pericentrisch kann man gewisse glocken- oder domförmige Massen bezeichnen, welche isoliert oder in Gruppen auftreten. Sie sind von v. Seebach „homogene Vulkane" genannt worden. Andere betrachten sie als die inneren Kerne von Kratervulkanen, indem das Aufschüttungsmaterial durch Erosion entfernt worden sei. Sollte diese Ansicht richtig sein, so müsste man stellenweise an derartigen Glockenbergen noch Teile des Aufschüttungsmaterials finden. Von Interesse würde das Studium der innern Struktur eines pericentrischen Glockenberges sein. Ist derselbe nicht der Kern eines frühern Vulkans, hat er also nicht einen Hohlraum ausgefüllt, so muss er durch Aufquellen flüssigen Materials aus einer Oeffnung entstanden sein. Dann aber muss dieses Material einen sehr hohen Grad von Zähflüssigkeit besessen haben und schnell erstarrt sein, da es sich sonst ausgebreitet haben würde. Immerhin ist es möglich, dass eine Reihe aufeinander folgender Ausbrüche durch einen centralen Kanal, wobei das Material jedes frühern vor Beginn des nächsten verfestigt wäre, einen Kegel auf freier Oberfläche aufbauen würden. Aufschluss hierüber lässt sich erwarten, wenn man einen derartigen Berg durch Erosion angeschnitten findet, allerdings nur bei fehlender Vegetation. Auch Steinbruchsarbeit kann die Untersuchung ermöglichen. Die meisten Glockenberge bestehen aus Phonolith, Trachyt oder Propylit.

Periklinal ist die Lagerung an Vulkanen. Ausbruchsmaterial und Laven gehen von einer konstanten, zuweilen auch in ihrer Lage wechselnden Vertikalachse aus und lagern sich in einem Kegelmantel um dieselbe.

Tafelförmige Lagerung ist den Basalten eigen. Der hohe Grad dünnflüssigen Zustandes, in welchem sie an die Oberfläche gelangten, spricht sich in dem Umstande aus, dass basaltische Tafelländer zuweilen Hunderte von Quadratmeilen ausgedehnt sind und allenthalben aus einer scheinbar gleichartigen Ueberlagerung von Tafeln gleichen Gesteines bestehen.

Selbst die Laven des Kilauea, welche die dünnflüssigsten der Jetztzeit sind, würden sich, wenn ein einziger Ausbruch eine hinreichende Masse derselben lieferte, nicht so weit auszubreiten vermögen, weil sie während des Fliessens durch konstante Wärmeabgabe erstarren müssten. Allerdings würde, wenn vor der Erkaltung eine zweite und dieser eine dritte Ueberflutung folgte, jede von diesen sich weiter ausbreiten als die vorhergehende; die zehnte und zwanzigste Flut könnte sich schon sehr weit ausdehnen. Aber die Aufeinanderfolge der Basaltflutungen scheint nur selten schnell gewesen, sondern vielmehr häufig durch Perioden der Bodenbildung und einer Ansiedlung von pflanzlichem und tierischem Leben unterbrochen worden zu sein. Diese Verhältnisse werden sich am besten beobachten lassen, wo Ströme in basaltischen Tafelländern (z. B. am Kolumbia) tief eingeschnitten sind, besonders wenn die Vegetationsdecke gering ist.

Wie der Kilauea zeigt, kann die Lagerung von basaltischen Tafeln periklinal geschehen, falls der Ausbruch aus einer centralen Oeffnung und nicht, wie es bei den grossen Tafelländern anzunehmen sein dürfte, aus Spalten geschieht.

Wenn man diese verschiedenen Lagerungsformen vergleichend betrachtet, so ergiebt es sich, dass man, wie schon im Eingange dieses Kapitels angegeben wurde, zwei Arten des Ausströmens der Eruptivgesteine annehmen kann, nämlich Massenausbrüche und vulkanische Ausbrüche; doch ist auch hier eine scharfe Grenze keineswegs zu ziehen.

Die bei weitem überwiegende Masse jüngerer Eruptivgesteine kam durch die ersteren zur Oberfläche. Es war ein Ueberströmen aus Oeffnungen von Kanälen, die mit einem innern, mit dem Magma erfüllten Behältnisse kommunizierten. Die Reibungsbreccien, bei welchen Grundmasse und Fragmente im Gesteinscharakter übereinstimmen, geben, besonders in Andesitgebirgen, durch ihre massenhafte Anhäufung Zeugnis, dass die Ausbrüche sich sporadisch wiederholten und bei jedem spätern eine bereits erstarrte Decke zertrümmert wurde. Dies kann nicht ohne bedeutende explosive Erscheinungen geschehen sein, und manche Einlagerungen von Trümmermaterial scheinen zu beweisen, dass solche vorhanden waren. Aber sie waren nicht auf einzelne Punkte konzentriert, sondern ereigneten sich, wie es scheint, bald an dieser, bald an jener Stelle einer Spalte. Der weitaus vorwaltende Vorgang war das Emporquellen von flüssigem Magma.

Die grossen Kammgebirge von jungeruptiven Gesteinen, die weit ausgedehnten basaltischen Tafelländer und vermutlich auch die Glockenberge sind Erzeugnisse der Massenausbrüche; es sind diesen also die longitudinale, die pericentrische und die im grossen tafelförmige Form der Lagerung eigentümlich.

Gering an Bedeutung trotz ihrer die Aufmerksamkeit auf sich lenkenden Rolle sind im Verhältnisse zu den vorigen die vulkanischen Ausbrüche. Die Art, in welcher sie an die Verbreitung der Massenausbrüche gebunden sind, über deren Grenzen sie nur im Sinne der Verlängerung der Spalten oder der Stellung auf quergerichteten Spalten hinausgehen, lässt sie nur als die letzten Phasen derselben Thätigkeit erscheinen, welche sich in jenen manifestierte. Sie wurzeln in denselben Ansammlungen flüssigen Magmas in der Tiefe, aus denen jene hervorgingen. Die empordrängende Kraft aber hat sich beinahe erschöpft. Sie ist auf einzelne Stellen konzentriert und äussert sich in einem geringen Emporquellen von Magma, dagegen wesentlich in einer explosiven Thätigkeit und einer periklinalen Lagerung und die senkrechte Achse der Ausbruchsöffnung. Dies sind die charakteristischen Merkmale der vulkanischen Thätigkeit.

Selbstverständlich sind die Endstadien in verschiedenen Gegenden in sehr verschiedenen Zeiten eingetreten. Es giebt Vulkane, deren Thätigkeit sehr früh begann und bald erlosch, andere, bei denen sie sich durch lange Perioden, zum Teile bis heute, forterhielt, noch andere, deren erste Ausbrüche in einer verhältnismässig kurz zurückliegenden Zeit stattfanden. Sie sind wie die Korallenriffe, von denen einzelne eine kurze Lebensdauer gehabt haben, andere heute noch fortwachsen, noch andere erst seit kurzem ihre Existenz begonnen haben. Aber ihnen scheint ein viel längerer Bestand in der Gesamtheit gesichert.

3. Altersfolge der jungeruptiven Gesteine.

§ 248. Wo immer Sedimentgesteine von jüngeren Eruptivgesteinen durchsetzt werden oder letztere von den ersteren überlagert werden, kann man, falls es gelingt, das Alter der Schichtgebilde durch Versteinerungen festzustellen, auch das relative Alter der Eruptivgesteine zu denselben bestimmen. Wichtiger ist es, Tuffablagerungen zu finden, deren Bildung mit gewissen Eruptivgesteinen gleichzeitig erfolgte. Sind sie untermeerisch abgesetzt, so enthalten sie häufig Reste einer Meeresfauna; sind sie in Süsswasser niedergeschlagen, so kommen nicht selten Blätter

oder Stämme von Landpflanzen, Gehäuse von Landschnecken, Knochen und Zähne von Wirbeltieren in ihnen vor.

Eine andere Aufgabe ist es, das gegenseitige Altersverhältnis der einzelnen Arten jungeruptiver Gesteine in verschiedenen Gegenden festzustellen. Wo deren mehrere vorkommen, erkennt man es: 1) an der Ueberlagerung einer Gesteinsart durch eine andere, z. B. der Abhänge eines Andesitgebirges durch Ströme von Rhyolith, oder einer trachytischen Masse durch eine Basaltdecke, wobei das überlagernde Gestein das jüngere ist; 2) an den Gängen, in welchen ein Gestein durch das andere aufsteigt, indem das letztere fest gewesen sein muss, als die Gangmasse hindurchgepresst wurde; 3) an Einschlüssen von Bruchstücken einer Gesteinsart in homogener Masse einer andern, wobei die Bruchstücke der älteren angehören; 4) an der gegenseitigen Ueberlagerung verschieden zusammengesetzter Tuffgesteine, welche sich zur Zeit der einzelnen Ausbrüche unter Wasser absetzten. Wenn z. B. weisser Tuff von langfaserigem Bimssteine, wie er aus Rhyolithsubstanz gebildet wird, auf dunklen Tuffschichten von Andesitsubstanz liegt, so ist ersteres Gestein jünger als das letztere.

Die Frage nach den Altersverhältnissen ist von rein örtlichem Werte bei den Lavaströmen der Vulkane. Sie sind bei diesen verhältnismässig leicht zu bestimmen, und dies sollte so oft als möglich geschehen, da die Eruptionsgeschichte jedes Kegels ihr Interesse hat, und ein umfassendes Vergleichungsmaterial doch vielleicht einmal Schlussfolgerungen von allgemeinem Werte gestatten wird. Ebenso ist die relative Altersfolge an den oben angedeuteten isolierten und diminutiven Herden von Massenausbrüchen von durchaus lokalem Interesse. Bedeutung erhält die Frage nur dann, wenn sie vom grossen Gesichtspunkte für die Gesamtheit der Massenausbrüche eines durch Reichtum an verschiedenen Gesteinsarten charakterisierten ausgedehnten Erdraumes ins Auge gefasst wird, und wenn die in verschiedenen solchen Erdräumen gewonnenen Ergebnisse vergleichend betrachtet werden.

Der ausgedehnteste Schauplatz tertiärer Ausbruchsthätigkeit auf den Kontinenten überhaupt ist die von dem Felsengebirge und der Sierra Nevada eingeschlossene Region; der bedeutendste in Europa liegt am Südrande der Karpathen. In beiden weit getrennten Erdräumen hat sich für die Massenausbrüche hinsichtlich des Alters die konstante Reihenfolge:

1) Propylit, 2) Andesit, 3) Trachyt, 4) Rhyolith, 5) Basalt herausgestellt. Auf amerikanischem Boden wurde dem Gegenstande durch die vortrefflichen Untersuchungen von Clarence King, Arnold Hague, C. E. Dutton, G. K. Gilbert, E. V. Hayden und andere die eingehendste Aufmerksamkeit gewidmet, und es ist trotz der unvergleichlich klaren Aufschlüsse, welche dort der Wüstencharakter veranlasst, nicht gelungen, einen einzigen nennenswerten Ausnahmefall nachzuweisen. Ein Vorbehalt ist nur noch betreffs des Propylites bis zur endgültigen Erledigung der Frage seiner Selbständigkeit zu machen. Doch bilden nach den vorherigen Auseinandersetzungen gerade die Altersverhältnisse ein Hauptargument für dieselbe, neben seinem petrographischen Charakter.

Diesem ersten bemerkenswerten Gesetze ist ein zweites hinzuzufügen, welchem schon auf Grund der bis jetzt zur Vergleichung vorliegenden Untersuchungen eine allgemeinere Gültigkeit zugeschrieben werden kann. Es bestehen nämlich in jedem durch reichhaltige und mannigfaltige Vertretung jungeruptiver Gesteine ausgezeichneten grossen Erdraume zwei Epochen der Entstehung der Eruptionsspalten. Denjenigen der ersten entströmten nacheinander: Propylit, Andesit, Trachyt und Rhyolith, denjenigen der zweiten ausschliesslich Basalte. Die Ausbruchsthätigkeit war in beiderlei Gebieten selbständig.

Während die vier erstgenannten Gesteine aneinander gebunden sind, treten die Basalte insofern selbständig auf, als sie ihr eigenes Verbreitungsgebiet haben. Sie finden sich zum Teile mit jenen zusammen; aber sie setzen deren Züge weit über deren alte Grenzen hinaus fort, verbinden durch sporadisches Erscheinen in der Längsrichtung deren getrennte Eruptionsgebiete und geben zugleich den letzteren eine viel grössere seitliche Ausbreitung, indem sie in rechtwinkligem Abstande von den älteren Ausbruchszügen bis zu grösserer Entfernung allein noch auftreten. Durch den Ueberflutungscharakter machen sich die Basalte besonders bemerkbar. Sie übertreffen die anderen unter den jungeruptiven Gesteinen nicht nur durch die grosse Zahl ihrer Ausbruchsstellen, sondern auch durch die räumliche Ausdehnung, welche sie auf der Erdoberfläche einnehmen.

Angesichts der beiden angeführten Gesetzmässigkeiten gewinnen die Untersuchungen über die Altersverhältnisse der Massenausbrüche in solchen Gegenden, von denen sichere Nachrichten

noch nicht vorliegen, ein besonderes Interesse. Es giebt einzelne sehr mächtige Vulkane (wie der erloschene Lassens Peak in Kalifornien), wo die Altersfolge sich vom Andesit bis zum Basalt gerade so wiederholt, wie sie in den Massenausbrüchen stattfindet. Auch auf sie ist daher von dem gleichen Gesichtspunkte, im Unterschiede von kleineren Vulkanen, Rücksicht zu nehmen. Unter den Problemen, welche sich darbieten, kann das Verhältnis gewisser basischer Gesteine bezeichnet werden, welche vor Eröffnung der gesetzmässigen tertiären Ausbruchsthätigkeit an die Oberfläche gelangten, wie z. B. der „Trapp", welcher in Vorderindien ein Tafelland von ausserordentlicher Ausdehnung und Mächtigkeit zusammensetzt. Seine Ausbruchszeit wird an das Ende der Kreideepoche gesetzt. Besonders erwünscht sind genaue Untersuchungen über die jüngeren Ausbruchsgesteine in den südamerikanischen Anden. Die grünen Porphyre, welche von Chile bis Ecuador eine wesentliche Rolle im Aufbaue der westlichen Kordilleren spielen, entsprechen im Gesteinscharakter den Propyliten. Die grossen Tuffmassen, von denen sie begleitet sind, erweisen eine externe und vielleicht untermeerische ursprüngliche Ablagerung. Sie scheinen dem letzten Teile der Juraepoche und vielleicht dem Anfange der Kreideepoche anzugehören; und dennoch folgen auf ihnen Andesite und ausserordentlich mächtige Rhyolithe, und die eruptive Thätigkeit setzt in den Riesenvulkanen der heutigen Zeit fort. Es hat den Anschein, als ob hier der Anfang der Ausbruchsthätigkeit in eine frühere Zeit zurückreiche als in anderen Erdräumen, die in der Reihenfolge der Gesteine begründete Entwicklung aber die nämliche gewesen sei; doch gestattet der geringe Grad der Kenntnis über jene Gegenden nicht, diesen Schluss mit Sicherheit zu ziehen.

Es möge genügen, hier auf die Thatsache des Vorhandenseins der genannten Altersbeziehungen in einigen durch jungeruptive Gesteine in aussergewöhnlichem Masse charakterisierten Erdräumen hinzuweisen und die Aufmerksamkeit der Reisenden auf die eigentümliche Gesetzmässigkeit zu lenken. Es liegt nahe, an dieselbe, wie es mehrfach versucht worden ist, Theorien über die Modalität der Ausbruchsthätigkeit und des Vulkanismus überhaupt zu knüpfen. Da jedoch dieselben noch vielfach in dem Bereiche der Hypothese befangen sind, die Beobachtung auf Reisen aber sich auf das Thatsächliche beschränken muss, so erscheint es richtiger, das spekulative Gebiet hier nicht zu betreten.

4. Untersuchung eines Vulkans.

§ 219. Jeder Vulkan bildet, im Gegensatze zu seinen Umgebungen, wie zu anderen Vulkanen, ein individualisiertes Ganzes und eignet sich dadurch zu einem gesonderten Studienobjekt. Die Untersuchung gewinnt an Interesse, wenn die Vorgänge der Neugestaltung durch vulkanische Thätigkeit noch fortdauern. Bei erloschenen Vulkanen hat man aus der Beschaffenheit und der Art der Zusammenfügung des Materials die ehemaligen Vorgänge zu ergründen. Es kommen dabei eine Reihe von Gesichtspunkten in Betracht.

a. Unterlage und Umgebung.

Ein Vulkan besteht aus Aufschüttungsmassen. Dieselben ruhen auf einem von ihm selbst verschiedenen Fussgestelle. Berühren sich die Aufschüttungen mehrerer Vulkane, so bleibt dieses in grösserer Erstreckung verborgen; erst an den äussersten Grenzen der Kegel kommt es zum Vorscheine, doch wird es zuweilen durch Erosion eines Teiles der Aufschüttung blossgelegt. Das Fussgestell kann ein jungeruptives Gebirge, der Vulkan dem Kamme oder den Flanken desselben aufgesetzt sein (z. B. Rhyolithvulkane auf Andesitgebirgen in Ungarn); zuweilen erhebt er sich aus einer Einsenkung innerhalb des vulkanischen Gebirges. In anderen Fällen besteht die Unterlage aus Tuffen (z. B. in Satsŭma (Japan) aus Bimssteintuffen, welche Basaltvulkane tragen), oder sie kann ein Vulkan selbst sein. In diesem Falle ist entweder der jüngere Vulkan ein Schmarotzer, welcher den Flanken des älteren aufsitzt und in dessen noch erhitzten, in seitliche Spalten eingedrungenen Lavamassen wurzelt, oder die Ausbruchsstelle des aus tieferen Regionen nach oben führenden Hauptkanals hat ihre Lage gewechselt, und ein neuer hoher Vulkan erhebt sich excentrisch über dem halbzerstörten Kegel eines älteren. Häufig ist jedoch älteres vulkanisches Gestein überhaupt nicht nachweisbar; der Kegel ruht auf kristallinischen Schiefern oder Flözgebirge. Der Bau der Unterlage kann also sehr mannigfaltig sein. Ihre sichtbaren Teile werden zuweilen durch Auswürflinge fremden Gesteines ergänzt.

Manche Kegel sitzen der Unterlage unvermittelt auf. Sie ist dann klar erkennbar, falls nicht die Auswurfsmassen nach aussen in Tuffschichten übergehen, welche jene bedecken. Ist sie sichtbar, so sollte man untersuchen, ob merkbare Ver-

werfungen und Zerklüftungen mit der Entstehung des Vulkans verbunden gewesen sind. Andere Vulkane hingegen, und darunter viele der grössten, erheben sich aus einem Einbruchskessel. Ein solcher Kegel ist in weiterm Umkreise von einem ringförmigen, meist nicht allseitig geschlossenen, nach innen gerichteten Steilabbruche umgeben, an welchem die verschiedensten, das angrenzende Land zusammensetzenden Gesteine (vulkanisches Tuffland, kristallinische Schiefer, Flözgebirge) entblösst sind. Ihre Lagerung hat keinen erkennbaren Zusammenhang mit den Grenzlinien der Versenkung. Der Aetna und der Fudjiyama erheben sich aus solchen Trichterkesseln; ihre Lavaströme finden die äusserste Grenze an den Umfassungswänden; bis zu diesen reicht das reichbevölkerte Gartenland, welches sich auf dem flachen Fusse des Kegels ausbreitet. Es giebt andere Fälle, in denen Vulkane aus der Querversenkung eines Gebirges aufsteigen. Aus einem derartigen Einbruche erheben sich der Lassens Peak und Mount Shasta in Kalifornien.

Nicht immer ist das Verhältnis so einfach und so deutlich erkennbar. Da aber die Herstellung eines Kanals, welcher den Herd des Vulkanismus im Erdinnern mit der Oberfläche verbindet, stets das Ergebnis gewaltiger mechanischer Vorgänge gewesen ist, so wird es an Spuren der letzteren niemals fehlen. Das Augenmerk ist daher in allen Fällen auf das Verhältnis der Vulkane zu dem Gebirgsbaue zu richten.

b. Verhältnis zu anderen Vulkanen.

Zuweilen tritt ein Vulkan so isoliert auf, dass das Verhältnis zu anderen, die sich in grösserer Entfernung befinden, erst nach genauer Erforschung der ganzen zwischen beiden gelegenen Gegend erkannt werden kann. Weit öfter sind mehrere einander nahe benachbart, und dann sind sie meist teilweise, öfters sämtlich auch schon erloschen. Ihre Niederlegung auf einer Karte zeigt bald, dass sie nicht regellos angeordnet sind, sondern ein Gesetz der Verteilung erkennen lassen. Selten kann man schon von dem Gipfel eines Vulkans aus die vollkommen geradlinige Anordnung anderer erkennen, wie in dem ausgezeichneten Falle der Kegelreihe: Kirischima, Sakuráschima, Kaimon-Dake und Iwogáschima auf der japanischen Insel Kiu-schiu, zu denen noch weiter nördlich der Aso-yama gehört, während andere Vulkane, wie der Unsen-yama, auf Linien stehen, welche zu der ganz geraden Hauptlinie quer gerichtet sind.

Häufiger findet sich eine Anordnung in leicht gekrümmter Bogenlinie. Auch dann ist auf die quergestellten Vulkane zu achten. Von besonderem Interesse ist es, festzusetzen, ob die Herde der Ausbruchsthätigkeit stetig gewesen oder gewandert sind, und in letzterm Falle, ob die Wanderung entlang der Hauptlinie oder auf den quergestellten Linien erfolgt ist. Fand sie auf den Querlinien eines Bogens statt, so haben diese eine radiale Anordnung, und es ist festzustellen, ob die Wanderung gegen das Centrum hin oder von ihm hinweg geschah.

Dies ist der formale, auf die grossen Züge der Tektonik bezügliche Gesichtspunkt. Es bieten sich zahlreiche andere Momente für die vergleichende Betrachtung benachbarter oder zu einem und demselben Gebirgszuge analog gestellter Vulkane. Dahin gehören die Beziehungen zwischen ihrer beiderseitigen Ausbruchsthätigkeit und ihrer aus den Ausbruchsmassen erkennbaren frühern Entwicklungsgeschichte.

c. Aeussere Gestalt und Zusammensetzung einfacher Vulkane.

Zertrümmertes Gestein und zerspritztes oder zerstäubtes Magma, das aus dem Krater ausgeworfen wurde und durch sein Niederfallen aus der Luft einen Kegel um den Schlot herum anhäufte, dazu Ströme von Lava, welche von einer Ausbruchsstelle an den Flanken oder auf dem Gipfel radial auf dem Kegelmantel hinabflossen, setzen einen Vulkan zusammen. Zuweilen sind die Produkte der explosiven Thätigkeit allein, ohne Spur von Lavaerguss, vorhanden; zuweilen ist die Lava weitaus vorherrschend; für sich allein setzt sie einen Vulkan nicht zusammen. Der explosive Charakter wenigstens eines Teiles der Ausbrüche gehört zu dem Wesen desselben. Von den sogenannten homogenen Vulkanen war oben (S. 559) die Rede. Dieser Name kann nicht als glücklich gewählt bezeichnet werden, da die betreffenden glockenförmigen Kuppen der wesentlichen Charakterzüge eigentlicher Vulkane ermangeln.

Bei dem Niederfallen häuft sich das gröbste Material dem Krater zunächst an und bildet um ihn einen Aufschüttungskegel von grossen Blöcken. Der Neigungswinkel hat hier sein Maximum. Er kann 34^0 nicht übersteigen, beträgt aber meist nicht mehr als $30-28^0$. Fände die Aufschüttung nur an dieser Stelle statt, so würde der Kegel dieselbe Neigung bis gegen den Fluss hin haben. Allein das Material von der

nächst kleinern Blockgrösse wird allseitig etwas weiter nach auswärts geschleudert; und in derselben Folge wird jede geringere Korngrösse nach einer weiter auswärts gelegenen Zone getragen. Daher wird in jeder von diesen die Neigung geringer; sie nimmt erst schnell ab auf 20^0, 15^0 und 10^0, dann immer langsamer, bis sie in der den Fuss des Kegels bildenden Zone nur noch $2^0 - 1^0$ beträgt; die letzte Zone, in welcher zerstäubtes Material sich vollkommen horizontal ablagert, ist unendlich ausgedehnt und gehört nicht mehr dem Vulkane an. Die Ablagerungsform ist derjenigen der Schutthalden in Seen (§ 84) durchaus analog. Während aber hier die Kurven verschiedener Schuttkegel in ihren steilen Teilen am weitesten von einander abstehen und in ihren horizontalen Teilen sich miteinander verbinden, haben sie bei Vulkanen die entgegengesetzte Stellung; denn das normale Profil eines Vulkans besteht aus zwei am Gipfel mit ungefähr 30^0 Neigung beginnenden Linien, die sich in leichter konkaver Krümmung nach entgegengesetzten Seiten herabsenken, bis sie beinahe horizontal werden. Diese Gestalt wird jedoch zunächst durch Luftströmungen modifiziert, welche auf die Ablagerung der groben Blöcke keinen merkbaren Einfluss haben, dagegen mit zunehmender Feinheit des Kornes das Vorherrschen der Ablagerung in einer bestimmten Richtung zur Folge haben. Sind sie konstant, so ziehen sie den Kegel in den tieferen Teilen gewissermassen nach einer Richtung aus; je mehr sie wechseln, desto weniger werden sie die Endgestalt ändern. Die Winde haben somit dieselbe Funktion wie die Meeresströmungen bei der Gestaltung der Kegel der untermeerischen Teile von Korallenriffen (§ 183) und Vulkanen (§ 187).

In höherm Grade greifen die Lavaströme differenzierend in die Gestaltung ein. Die älteren sind von den jüngeren Auswurfsstoffen erst überwölbt und dann von ihnen vergraben worden. Da aber die Mächtigkeit einer Auswurfsschicht im grossen Durchschnitte vom Centrum nach der Peripherie abnimmt, so sind die dem ersten nähergelegenen Teile früher und höher verdeckt als die entfernteren, die als lange Hügelzüge aufragen, sich gegen den Ringwall, falls ein solcher vorhanden ist, stauen, dem Boden der vom Vulkane ausgehenden Flussthäler weit über die Kegelgrenze hinaus folgen, die Gewässer ableiten und diejenigen von Nebenthälern zu Seen aufstauen. Wo zwei Lavaströme aneinander kommen, lässt sich

ihr gegenseitiges Altersverhältnis leicht festsetzen; sind sie räumlich getrennt, so ist dieses schwer zu bestimmen. Die Gestalt der Lavaströme ändert sich sehr nach dem Flüssigkeitsgrade, den die geschmolzene Masse bei ihrem Austritte hatte. Besonders zähflüssig waren solche rhyolitische Laven, welche grobkristallinisch (zu Nevadit) erstarrt sind. Die Enden ihrer Ströme sind hoch und steil, diese selbst hoch gewölbt. Das Extrem von Leichtflüssigkeit zeigen, wie erwähnt, die basaltischen Laven, die sich in flachen Decken ausgebreitet und, gleich einer Wasserschicht, die aufragenden Teile des Bodenreliefs umströmt haben. Bei manchen Lavaströmen hat nach Erstarrung der äussern Rinde das Innere am untern Ende einen Ausweg gefunden und ist fortgeströmt, sodass jene Rinde als eine feste Hülle zurückblieb. Auch wo dies nicht der Fall ist, sollte man, falls zufällige Aufschlüsse es gestatten, die inneren und die äusseren Teile der Lavamasse getrennt untersuchen. In jenen ist das Gestein meist kompakt, in diesen blasig aufgetrieben.

Ein anderes gestaltendes Moment sind die Schlammströme, auf deren Entstehungsart bereits hingewiesen wurde. Sie wälzen sich an den Gehängen breit hinab und reissen die Aschenteile der äussersten Kegelhülle mit sich, um die unteren flachen Regionen der letzteren mit ihren Fluten von Gesteinsmaterial zu bedecken oder indem sie in Thälern hinabströmen, lange Ausläufer von dem Vulkane aus zu bilden. An den Gehängen der Sierra Nevada in Kalifornien sind sie in grossartigstem Massstabe entwickelt und durch spätere Erosion deutlich aufgeschlossen.

Ferner ist der kleinen Schmarotzerkegel zu gedenken, welche in einer Zone unterhalb der halben Kegelhöhe auftreten und bei manchen Vulkanen in Menge vorhanden sind. Jeder von ihnen ist ein kleiner Vulkan mit Aschenauswürfen und häufig mit einem Lavastrome. Bei ihnen tritt in der Regel der Lavastrom aus einer von ihm selbst geöffneten Bresche im Kraterwalle heraus. Hufeisenförmige Kraterwälle sind daher häufige Erscheinungen. Das Aufwerfen dieser kleinen Schmarotzerkegel ist zuweilen das Werk weniger Tage; dann ist die Quelle der Eruptionskraft erschöpft.

Die Gestalt der Vulkane erleidet ferner Veränderungen durch fliessende Gewässer. Je vollkommener die Kegelform ist, desto ausgezeichneter ist die Anordnung der von ihnen gegrabenen radialen Rillen. Sie mehren sich nach unten an

Zahl. Jede von ihnen hat ihren Sammeltrichter, der oft die vollendete Form eines Kares mit steilen Wänden hat, ihre Erosionsstrecke und ihr Ablagerungsgebiet, in welchem die Anordnung eines Schuttkegels stattfindet (s. § 83). Dort ist Entwässerung, hier Bewässerung. Bei Kesselumwallung münden die Gewässer in Bäche, die der Peripherie für eine Strecke folgen, um dann durch eine Lücke in der Umwallung, oder durch eine Erosionsfurche zu entweichen. — Da in regenreichen Gegenden die spülende Wirkung an den Gehängen bedeutend ist, während bei trockenem Klima die niederfallenden lockeren Stoffe allein die Form bestimmen, so sollte die Profilkurve der Gehänge in beiden Fällen verschieden sein. Dies kann nur durch sorgfältige Messungen festgestellt werden.

d. Zusammengesetzte Vulkankegel.

Schon die Schmarotzerkegel verursachen eine Komplikation der Gestalt. In weit grösserm Massstabe manifestiert sich diese, wenn aus einem breit abgestutzten Kegel ein zweiter, gewöhnlich etwas excentrisch, sich erhebt. Dies ist bekanntlich der Fall bei den meisten grossen erloschenen und thätigen Vulkanen. In dem abgestutzten Teile findet sich dann gewöhnlich in der ganzen Ausdehnung zwischen den oberen Rändern seines Kegelmantels eine tiefe Versenkung, deren Umwallung von jenen Rändern an steil nach innen abstürzt. Der jüngere, innere Kegel steigt aus ihr auf und füllt sie ganz oder teilweise aus. Es bleibt eine ringförmige Rinne, das Atrium, zwischen seinen sanften Abfällen und den Steilabstürzen des Ringwalles. Beide Kegel stellen zwei, zuweilen der Zeit nach weit voneinander entlegene, durch eine gewaltige Katastrophe getrennte Phasen der Geschichte des Vulkans dar. Es ist von Interesse, in solchen Fällen ein genaues, durch viele Höhenmessungen gestütztes kartographisches Bild des letztern zu entwerfen und die Untersuchung des Materials an möglichst vielen, auf der Karte anzugebenden Stellen auszuführen. Der Betrag der fortgeführten Masse lässt sich annähernd berechnen, wenn man die Grösse der Grundfläche des fehlenden Teils und die Neigungswinkel der Abfälle des stehengebliebenen in Betracht zieht.

Besondere Aufmerksamkeit sollte der Frage zugewendet werden, in welcher Weise die Abstutzung des ältern, als Basis dienenden Vulkans erfolgt ist. Es sind dafür drei Theorien aufgestellt worden. Nach der einen soll Erosion allein, nach

der zweiten Explosion, nach der dritten Einbruch die Erscheinung erklären. Es scheint, dass jede von ihnen in einzelnen Fällen ihre Berechtigung hat.

Der Erosion leisten die lockeren vulkanischen Anhäufungen geringen Widerstand. Wenn ein Sammeltrichter sich infolge günstiger Bedingungen stärker vergrössert hat als sein Nachbar, so schreitet die fernere Erweiterung der Vertiefung rasch fort. Es bilden sich grosse, von steilen Wänden umragte Kessel (Calderas), welche ihre Gewässer mit allen von ihnen mitgenommenen Zerstörungsprodukten durch einen einzigen engen Erosionskanal (Baranco) nach aussen senden. In diesem Kessel kann ein neuer Vulkan aufsteigen. — Eine Fortführung von Material von ähnlichem Betrage, wie sie sich hier in einem langen Zeitraume allmählich vollzieht, kann durch Explosion mit grosser Schnelligkeit geschehen. Den auffälligsten Beweis gab diejenige, welche die Gestalt des Krakatau so wesentlich verändert hat. Doch sind sie auch früher von Java beschrieben worden, und man kennt ihre sicheren Spuren an vielen Maaren. Wahrscheinlich ist die Explosion darauf zurückzuführen, dass das in dem Magma eingeschlossene überhitzte Wasser zufolge einer durch die Ueberwindung der stetig anwachsenden Spannung veranlassten, von dem Magma zur Oberfläche reichenden Aufspaltung, plötzlich unter geringen Druck kommt, sich in demselben Augenblicke innerhalb der am günstigsten gelegenen Schicht in Dampf verwandelt und mit der es umschliessenden flüssigen Masse herausgeschleudert wird, dadurch die zunächst tiefer liegenden Schichten entlastet werden, derselbe Vorgang sich in ihnen wiederholt, und in dieser Weise Entlastung und Explosion nach immer tiefer liegenden Teilen fortschreiten. Selbstverständlich ist der ganze Vorgang das Werk eines sehr kleinen Zeitteiles. Das Magma wird in demselben Momente zu Bimsstein aufgebläht und teils in Stücken, teils in feinster Zerstäubung in grosse Höhen der Atmosphäre geschleudert. Die grösseren Stücke fallen nieder, die feinen werden von den Luftströmungen fortgetragen. Die angegebene Ursache kann nur als wahrscheinlich bezeichnet werden. Thatsachen sind: die Explosion, die Zerstücklung und die Absprengung des obern Teiles des vormaligen Kegels. Es bleibt nur dessen unterer Teil zurück. In das Innere des an Stelle des Kraters entstandenen weitgeöffneten Beckens hat nach derartigen Ereignissen noch kein Beobachter geblickt. Wahrscheinlich ist

das Absprengen häufig eine Ursache der Abstutzung grosser vulkanischer Kegel gewesen. Die ungeheuren Trümmermassen, welche in den Umgebungen abgelagert werden, sind meist von den darauf folgenden Aschenausbrüchen verdeckt. — Als dritte Ursache ist der Einbruch zu bezeichnen. Kesselförmige, häufig mit Seen ausgefüllte Versenkungen sind, wie früher (§ 120) bemerkt wurde, eine oft zu beobachtende Erscheinung in vulkanischen Gegenden. Sind sie von einem Kranze ausgeworfener Massen umgeben, so sind sie durch Explosion zu erklären; fehlt jede Spur von Auswürflingen, so kann nur eine Versenkung zu Grunde liegen. Dies gilt z. B. für die Kessel, aus denen sich, wie vorher angegeben, einzelne Vulkane selbst erheben. Auf der Höhe ihrer Umwallungen sucht man vergeblich nach den Trümmern der verschwundenen Gesteine; die letzteren können nur in die Tiefe hinabgesunken sein. Wenn aber dieser Vorgang überhaupt in vulkanischen Gegenden vorkommt, so darf man ihn von vornherein in erster Linie unter einem Auswurfskegel erwarten, da nach beendeter Eruptionsthätigkeit die im Innern befindlichen Lavamassen durch Erkaltung sich zu einem kleinern Volumen zusammenziehen müssen, wenn auch wohl in jedem einzelnen Teile derselben der Vorgang auf kurze Zeit durch Volumenvermehrung bei der Kristallisation unterbrochen wird. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass Versenkung die häufigste Ursache der Abstutzung des ältern Teiles zusammengesetzter Vulkankegel ist.

e. Ausbruchsthätigkeit.

Bei einem Vulkane, dessen Thätigkeit man beobachten will, sollten Gestalt des Berges und des Kraters genau bekannt sein, ebenso die bereits geschehenen Veränderungen beider. Tritt ein Ausbruch ein, so sind zu beachten: die denselben häufig vorbereitenden Erderschütterungen, ihre Ausdehnung, die Art ihrer Fortbewegung und, wo möglich, ihr Centrum, die zur Zeit obwaltenden meteorologischen Verhältnisse, besonders der Luftdruck, Sitz und Art der Gas- und Dampf-Exhalationen; Schmelzen des Schnees, Versiegen von Brunnen u. s. w. Steigern sich diese gewöhnlichen Vorläufer der Ausbrüche allmählich, oder beginnen die letzteren plötzlich? In welcher Weise geschieht der erste Ausbruch? Findet eine plötzliche Explosion statt? Ein Mass für die Stärke derselben giebt sich zu erkennen: in dem Grade der Veränderung der Gestalt und Grösse des Kraters, in der Höhe,

bis zu welcher die Trümmer im Verhältnisse zu ihrer Grösse geschleudert werden in der Entfernung vom Centrum, in welcher Fragmente von einer gewissen Grösse noch niederfallen. Es sind dann die Häufigkeit und Stärke der folgenden Explosionen, die Entfernung, bis zu welcher die feine Asche getragen wird, die weiteren Veränderungen des Kraters, die Bildung seitlicher Spalten, durch welche Dampf entweicht, zu beobachten. Die ausgeschleuderten Trümmer sind mit Rücksicht auf ihre Grösse und Gestalt, ihre Anordnung beim Herniederfallen, ihre Gesteinsart und ihre Textur zu untersuchen. Sind diejenigen des ersten Ausbruchs gleichartig mit denen späterer Explosionen? Die entweichenden Gase sollten, wo möglich, an Ort und Stelle geprüft werden, falls man Gelegenheit hat, dies an verschiedenen Gasausströmungsstellen auszuführen und an einzelnen Stellen mehrfach in Zwischenräumen zu wiederholen. Untersuchungen hierüber sind schwierig und können nur von denen unternommen werden, welche, mit den betreffenden Methoden vertraut und mit den erforderlichen Apparaten ausgerüstet, dieses Ziel im besondern verfolgen. Aus den bisherigen Forschungen, um welche sich vorzüglich Deville, Bunsen und Fouqué verdient gemacht haben, hat sich ergeben, dass die einem thätigen Vulkane entströmenden Gase, abgesehen von dem weitaus vorwaltenden Wasserdampfe, an solchen Stellen, wo die Temperatur etwas über 500° C. beträgt, aus Chlorüren von Natrium, Kalium, Mangan, Eisen und Kupfer, an etwas weniger heissen Stellen (bei Temperaturen zwischen 300 und 400°) aus Chlorwasserstoff und schwefliger Säure, an solchen von etwas über 100° C. aus Chlorammonium und Chlorwasserstoff, an solchen von ziemlich genau 100° aus Kohlensäure und Schwefelwasserstoff bestehen, während in noch weiteren Abständen von dem Herde der grössten Hitze, bei niederen Temperaturgraden, Kohlensäure allein entweicht. Es ist wahrscheinlich, dass in den Gasen der unnahbaren centralen Herde auch Fluorverbindungen eine wesentliche Rolle unter den Emanationen spielen. Dies wird sich nur aus den Sublimationsprodukten erweisen lassen. Man trifft die letzteren als Auskleidungen von Spalten und Rissen an abgekühlten Stellen an. Sie besitzen mineralogisches Interesse an sich, sind aber besonders wichtig als Zeugen solcher Vorgänge, welche sich der unmittelbaren Beobachtung entziehen.

Bei Lavaströmen sind zu beobachten: der Ursprungsort, die Art der Oeffnung des ersten Kanals, der Querschnitt des

Stromes an einzelnen Stellen, der Grad der Zäh- oder Leichtflüssigkeit, die Natur der von der Oberfläche der Lava aufsteigenden Dämpfe und Gase, das Mass der Geschwindigkeit, mit der der Strom an einzelnen Stellen hinabfliesst, der Grad der fortschreitenden Abkühlung und Erstarrung, endlich die Art des daraus hervorgehenden Gesteines. In letzterer Hinsicht ist zu beachten, ob einzelne Mineralien vor dem Festwerden in grösseren Kristallen ausgeschieden gewesen und bei dem Fortschieben der Masse zerrissen und zerborsten worden sind.

Tritt nach einer Periode der Thätigkeit der Vulkan in den Ruhestand zurück, so sollte Aufmerksamkeit auf die Frage gerichtet werden, ob ein Zurücksinken des Kraters und seiner Umgebungen stattfindet.

Um an thätigen Vulkanen nützliche Beobachtungen anzustellen, bedarf man längerer Zeit oder muss häufiger an denselben Ort zurückkehren. Sie sind daher besonders solchen zu empfehlen, welche in der Nähe leben. Der Reisende kann den eigenen längern Aufenthalt einigermassen durch das Einziehen von Erkundigungen ersetzen und sollte möglichst viele Thatsachen über die Geschichte eines als thätig erkannten Vulkans festzustellen suchen.

5. Allgemeine Beobachtungen in vulkanischen Gegenden.

§ 250. Eine Fülle verschiedenartiger Beobachtungen lassen sich an die Umgebungen thätiger Vulkane und der Ausbruchsstellen jüngerer Eruptivgesteine überhaupt knüpfen. Es möge hier nur auf einige der leichter anzustellenden hingewiesen werden.

a. Ausströmen von Dämpfen, heissem Wasser und Gasen.

Teils unmittelbar mit thätigen oder erloschenen Vulkanen verbunden, teils in ihrem Umkreise, aber nur bis zu geringer Entfernung, begegnet man Erscheinungen, welche mit dem Vorhandensein von Sitzen hoher Wärme unter verschiedenen Stellen der Oberfläche, sowie mit mechanischen Vorgängen in der Tiefe in ersichtlichem Zusammenhange stehen. Wärme und Arbeit des im Gefolge eruptiver Thätigkeit dort vorhandenen Laboratoriums werden zum Teile durch Vermittlung des Wassers nach der Erdoberfläche übertragen. Hocherhitztes Wasser strömt mit mancherlei Gasen beladen aus und giebt durch meist bedeutenden Gehalt an gelösten mineralischen Stoffen Zeugnis von den Angriffen auf Gesteinsmassen, welche es an dem Orte,

von dem es kommt oder auf seinem Wege ausgeübt hat. Seltener entweichen Gase allein ohne Vermittlung des Wassers.

In der Art dieser Thätigkeit giebt es eine lange Reihe qualitativer und quantitativer Abstufungen. Diejenigen Schauplätze, wo sie am intensivsten ist, werden Solfataren genannt. Bald strömt Wasserdampf mit grosser Heftigkeit aus, bald brodelt kochendes Wasser in starken Quellen. Unter den am Geruch erkennbaren Gasen sind Schwefelwasserstoff und schweflige Säure bezeichnend. Wahrscheinlich ist nur das erstere ursprünglich vorhanden und wird zum Teile in das letztere durch Oxydation verwandelt. Chlorwasserstoff scheint ein sehr seltener Bestandteil zu sein. Die Gesteine werden jedenfalls entlang den Wegen der Dämpfe heftig angegriffen, besonders aber in den der Oberfläche zunächst gelegenen Teilen stark zersetzt; es bilden sich Ansammlungen von Schlamm, als dem Rückstande der Zersetzung, welcher selbst ein brodelnder Pfuhl wird. In ihm setzt sich häufig Schwefel ab. Derselbe kann sich zu bedeutenden Lagerstätten häufen, die, wie bei Girgenti, nach Erlöschen der Solfatarenthätigkeit abbauwürdig werden. Auch Gips und Alaun werden gebildet. Weisse, giftig-gelbe, orangerote und braune Farben herrschen in dem zerfressenen Gesteine; der Schlamm pflegt hellgrau zu sein.

Krater im Zustande der Ruhe bewahren durch lange Zeit die Thätigkeit von Solfataren. Ausserdem finden sich diese sporadisch zerstreut in Kesseln und Spalten, sowie an den Gehängen vulkanischer Gebirge, manchmal unmittelbar von üppigster tropischer Vegetation umgeben. Man trifft sie auch in anderen Gesteinen der Umgebungen. Die Einwirkung ist besonders intensiv in vulkanischem Trümmergesteine, wo das lockere Bindemittel dem unter Hindernissen durchbrechenden Wasserdampfe tausend feine Kanäle anweist. Der Besuch solcher Stellen ist dem Reisenden zu empfehlen, da ihre Beobachtung ein Verständnis für eine wichtige Klasse vulkanischer Vorgänge und für eine Art von Zersetzungsprozessen giebt, deren leicht wieder zu erkennenden Produkten man häufig an Orten, wo längst jede Spur fortdauernder Thätigkeit aufgehört hat, begegnet. Man findet sie nicht nur in den aus jüngeren Eruptivgesteinen aufgebauten Gebirgen und in deren Umgebungen, sondern trifft sie auch in Verbindung mit der vulkanischen Thätigkeit früherer Zeitalter der Erde. Es ist dann nicht immer leicht, sie mit Sicherheit zu erkennen.

Die Quellen kochenden Wassers sind zuweilen intermittierend, indem mehr oder weniger heftige Ergüsse, die sich bis zu einem Emporschleudern zu bedeutender Höhe steigern können, in regelmässigem Rhythmus durch Ruhepausen unterbrochen werden. Nach dem bekannten isländischen Prototyp hat man ihnen den Namen Geiser gegeben. Ausser den vielfachen Studien, welche über die Erscheinung in Island vorliegen, ist sie durch Hochstetter in Neuseeland und durch amerikanische Geologen am Yellowstone eingehend erforscht worden. Das Werk des ersteren (Neuseeland, Stuttgart 1863) giebt dem Reisenden Fingerzeige zu Beobachtungen über diesen Gegenstand, sowie über vulkanische Gegenden überhaupt. Eine sorgfältige Zusammenstellung aller das Geiserphänomen betreffenden Thatsachen, sowie eine Aufzählung der sehr reichhaltigen Litteratur darüber hat Peale (in Haydens *twelfth annual Report,* Washington 1883) gegeben. Man hat bei den Geisern insbesondere die Intervalle der regelmässig pulsierenden Thätigkeit, die Art der Eruptionen, die Beschaffenheit der wesentlich aus Kieselsinter bestehenden Absätze und die Formen der Anhäufungen derselben zu beobachten. Zuweilen findet man die letzteren an Stellen, wo jetzt kochendes Wasser nicht mehr ausströmt.

Abgesehen von Solfataren und Geisererscheinungen kommen heisse Quellen vor, welche die bei den ersteren erwähnte Gesteinszersetzung an der Oberfläche nicht ausüben und sich von den Geisern durch beständiges Fliessen unterscheiden. Sie sind häufig an frühere Eruptionsthätigkeit unmittelbar gebunden und finden sich z. B. mit Vorliebe an solchen Stellen, wo steile Abbrüche von Granitgebirgen von Basaltausbrüchen begleitet sind; zum Teile trifft man sie weit von den Ausbruchsherden entfernt, aber doch entlang Linien, welche diese miteinander verbinden; zum Teile heften sie sich an Dislokationslinien, welche der Spuren von Gesteinsausbrüchen ermangeln. Bei allen heissen Quellen, einschliesslich der beiden zuerst genannten Typen, sind zu beobachten: der Temperaturgrad, das Gestein, aus welchem das Wasser entspringt, die Quantität des entströmenden Wassers, das Vorhandensein oder Fehlen von Schwefelwasserstoffgeruch, der Gehalt an Kohlensäure, an Kochsalz und anderen Mineralstoffen, die Absätze aus dem Wasser, wie Kieselerde, kohlensaurer Kalk, Eisenoxydhydrat etc., falls deren überhaupt vorhanden sind, die Lage der Quellen im Verhältnisse zu Gebirgen, zu Gesteinsgrenzen und Gesteins-

arten, zu Spalten und Verwerfungen. In manchen Fällen bietet sich auch Gelegenheit, in den Absätzen mikroskopische Organismen zu beobachten.

Im Anschlusse hieran sind die Kohlensäuerlinge zu nennen, welche grösstenteils die spätesten und letzten Nachwehen eruptiver Thätigkeit zu sein scheinen. Die Orte, wo sie vorkommen, sollten auf Karten aufgetragen werden. Sie ordnen sich in der Regel in langgestreckte Zonen, welche meist in enger Beziehung zu der Verbreitung jungeruptiver Gesteine stehen. Von um so grösserm Interesse ist ihr Vorkommen ausserhalb dieser Gebiete.

Als frei ausströmendes Gas tritt besonders die Kohlensäure auf. Man bezeichnet die Orte dieser Erscheinung als Mofetten. Sie sind an vulkanische Gegenden gebunden und bezeichnen ebenfalls die letzten Stadien der Ausbruchsthätigkeit.

Eine andere, auf dem Vorhandensein eines unterirdischen Wärmeherdes beruhende, in vielen Fällen an die Nachbarschaft von Stätten ehemaliger oder noch fortdauernder vulkanischer Thätigkeit gebundene Erscheinung ist das Ausströmen von Kohlenwasserstoffgasen. Wahrscheinlich von der Zersetzung organischer Substanzen herrührend, können sie durch die innere Erdwärme allein erzeugt werden und finden an verschiedenen Stellen einen Ausweg nach der Erdoberfläche; aber der Anlass zu ihrer Bildung ist erhöht, wo durch besondere Umstände Wärme erzeugt wird. Dies kann z. B. durch Verschiebungen innerhalb der Erdrinde geschehen. An eine dadurch bezeichnete Linie heftet sich das Ausströmen brennbarer Gase an beiden Enden des Kaukasus. Nur in der Erscheinungsart, nicht im Wesen verschieden sind die Schlammvulkane oder Salsen: kleine Schlammkegel, aus deren Gipfel schlammiges und salzhaltiges, meist Kohlensäure und Kohlenoxyd enthaltendes und mit Erdöl vermischtes Wasser durch stark entweichendes Kohlenwasserstoffgas herausgestossen wird. Sie haben ebenfalls ihre Hauptverbreitung in vulkanischen Gegenden.

Alle hier genannte Erscheinungen bilden eine Reihe von Stadien, durch welche die vulkanische Thätigkeit allmählich zum Erlöschen kommt. Man kann sie daher in einer und derselben Gegend nebeneinander beobachten. Sie sind ein zeitliches Analogon für die räumliche Verteilung der Gasemanationen, welche man während eines vulkanischen Ausbruchs wahrnimmt.

b. Zersetzungsprodukte.

§ 251. Das Interesse der Umänderungen, welche die Gesteine in Verbindung mit den erwähnten Erscheinungen erleiden, beruht einerseits darin, dass die intensivsten aller im grossen auftretenden zersetzenden Agentien bethätigt sind und ihre Wirkungssphäre innerhalb gewisser enger Grenzen eingeschlossen ist, andererseits in dem Umstande, dass die in jedem einzelnen Falle affizierte Erdstelle die Gestalt eines von innen nach aussen gerichteten, durch einen Kanal oder eine Spalte in seiner Form vorgezeichneten Schlotes oder einer, nach oben wahrscheinlich sich verzweigenden Scheibe haben muss. Es sollten also Zersetzungsprodukte von bestimmter Art in bestimmter Weise angeordnet sein. Ihre Bildung geschah durch Vorgänge, die von innen nach aussen wirkten, aber mit dem Nachlassen des Andrängens von unten wird mehr und mehr das Wasser die gleichen Wege zum Eindringen nach der Tiefe benutzt und eine Aenderung in der Anordnung der lösbaren Stoffe von oben nach unten hin zur Folge gehabt haben. Ausserdem wird ein Unterschied zwischen den höheren und tieferen Teilen darin bestehen, dass jene in weit grösserer Horizontalausdehnung durch die zersetzenden Agentien affiziert sind. Dies gilt besonders, wie schon in § 187 angedeutet wurde, für diejenigen Einwirkungen von Gasausströmungen, welche unter hohem Wasserdrucke auf wassererfüllte vulkanische Gesteinsmassen einwirkten.

Unter den Produkten des Absatzes und der Umwandlung sind die schon genannten Lagerstätten des Schwefels zu erwähnen; ferner das Vorkommen von Gips, besonders an solchen Stellen, wo vulkanische Dämpfe auf Kalkstein eingewirkt haben. Die vulkanischen Gesteine selbst sind in der mannigfachsten Weise umgewandelt. In einem ersten Stadium, wie man es an thätigen Solfataren beobachtet, sind die Zersetzungsprodukte von löslichen Salzen, besonders Alaun, Gips und anderen Sulfaten, erfüllt. Später können diese ausgelaugt werden. Es entstehen einerseits festere, zellige Gesteine, andererseits lockere Erden. Bemerkenswert ist der Alaunfels, welcher aus verschiedenen Gesteinen, insbesondere aus Tuffen und Breccien, durch starke solfatarische Einwirkung entsteht. Bei Bereghszász in Ungarn liegt seiner Bildung ein quarzreicher Rhyolith zu Grunde. Die Art, in welcher die Quarzkristalle zerfressen sind, lässt darauf schliessen, dass das Gestein vor der Periode der schwefligen Dämpfe der Einwirkung von

fluorhaltigen Gasen ausgesetzt gewesen ist. Dieses Verhalten verdient anderweitig geprüft zu werden.

Unter den weicheren Erden ist neben mancherlei Thonen insbesondere die Porzellanerde zu nennen. Sie kann aus der Umwandlung vulkanischer Tuffgesteine entstanden sein; aber auch andere Gesteine sind in der Nähe vulkanischer Herde in dieselbe verwandelt worden. Die grosse Lagerstätte von Imări in Japan beruht auf der Einwirkung von Solfatarenthätigkeit auf mürbe thonige Sandsteine; sie zeichnet sich durch den schnellen und häufigen Wechsel in dem Grade der Umwandlung aus, sodass dort die beste Porzellanerde ganz unregelmässig zwischen nicht abbauwürdigen Mitteln verteilt ist.

An Bedeutung und Interesse nehmen die erste Stelle die den Wegen der vulkanischen Dämpfe folgenden Gangbildungen ein, insbesondere die edlen Erzlagerstätten. Sie sind in manchen Gegenden an die Propylite und Dacite, seltener an andere jungeruptive Gesteine gebunden.

c. Anordnung und Ablagerung der Ausbruchsmassen.

§ 252. Da bei jedem einzelnen Vulkane und ebenso bei jedem aus jüngeren Eruptivgesteinen aufgebauten Gebirge eine Reihe von Ausbrüchen nacheinander stattgefunden haben, und jedes spätere Gestein die früheren von unten nach oben durchsetzte und sich an der Oberfläche, falls es dieselbe erreichte, über jene ausbreitete, so würde man die Geschichte der Eruptionen genau verfolgen können, wenn es gelänge, den ganzen Bau in seiner innersten Anordnung klar zu durchschauen. Dies ist ein Ziel der Beobachtung. Man wird immer nur dahin gelangen, Bruchstücke des Baues an einzelnen Stellen deutlich zu erkennen; aber durch deren Zusammentragen und Vergleichen kann man viele Lücken ausfüllen. Um den innern Bau eines Vulkans betrachten zu können, ist es erforderlich, dass Teile des Kegels zerstört seien. Die feste Lava bildet ein Gerüst, welches der Erosion schwieriger unterliegt als die Anhäufungen der Auswürflinge. Selten ist das erstere so deutlich erkennbar wie an dem besonders durch Reyer erforschten Venda in den Euganeen. Die Lava steht in radialen senkrechten Blättern, welche Spaltenausfüllungen darstellen; von dem einzelnen Blatte geht an einer höhern oder tiefern Stelle des ehemaligen Kegelmantels der äussere Lavastrom aus. An einem einfachen Vulkane erstreckt sich dieser periklinal herab; an einem

zusammengesetzten erfüllt er als Segment eines Ringes einen Teil des Atrium. In beiden Fällen bildet die Lagerung einen seltsamen Kontrast zu dem Baue des innern Skeletts. Wo immer an einem erloschenen Vulkane, der sich an den Resten periklinaler Lagerung von Tuffen am sichersten erkennen lässt, diese zum Teile fortgeschafft sind und das Lavagerüst dadurch entblösst worden ist, sollte man dieses eingehend studieren.

Die Geschichte der Ausbrüche lässt sich wie an der Hand einer mit einfachen Zügen geschriebenen Chronik deutlich verfolgen, wo deren Produkte in einem Süsswassersee abgelagert wurden und dessen Sedimente später durch einen Wasserriss aufgeschlossen worden sind. Eine Schicht grober Auswürflinge zeigt die Eröffnung einer Eruption an. In den darüber gelagerten Schichten findet eine oscillierende Abstufung durch verschiedene Korngrössen bis zu den feinerdigsten Tuffen statt, und nicht selten endet die Ablagerungsreihe mit polierschieferartigen, infusorienreichen, von Blattabdrücken erfüllten thonigen Schichten, welche eine lange Zeit völliger Ruhe darstellen. Sie ist unvermittelt durch die groben Auswürflinge eines neuen Ausbruchs überlagert. Auch ihnen folgen feine Schichten, und so setzen die Niederschläge als Merkzeichen für die Pulsschläge der Ausbruchsthätigkeit fort. Wo nicht Absatz im Wasser stattfand, fehlen die Merkmale der Ruhezeit, und die Regelmässigkeit der Aufeinanderfolge ist dann durch Erosion gestört. Bei lakustrinem Niederschlage hingegen geben Blätter und zuweilen Insekten und andere Tiere einen Anhalt, um die Ausbruchsepochen in die geologische Chronologie einzuordnen. Wo dünnflüssige Basalte hervorgequollen sind, lagern auch wohl Decken dieses Gesteines zwischen Infusorienschichten.

Innerhalb grosser, aus jungeruptiven Gesteinen aufgebauter Gebirge, wie z. B. derjenigen von Ungarn, finden sich oft zahlreiche Becken mit Süsswasserablagerungen erfüllt, in welchen, neben dem Wechsel von Tuffen und feinerdigen Sedimenten, die Kieselerde in den Formen von Kieselguhr, Polierschiefer, Halbopalen aller Art und verkieseltem Holze eine grosse Rolle spielt.

Untermeerische vulkanische Thätigkeit giebt sich durch oft sehr mächtige übereinander geschichtete Tuffablagerungen zu erkennen. Ruheperioden sind an Küsten durch feinerdige Schichten mit organischen Resten, unter denen in warmen Meeren Korallenbauten die wichtigsten sind, charakterisiert. Tuffaufschüttungen

am Boden des offenen Meeres sind aus jüngerer Zeit kaum bekannt. Es wäre von Interesse, sie zu beobachten und die Eruptionsstelle zu finden, um die Art der Lagerung der Tuffe um sie herum zu untersuchen. Den Maximalwinkel der periklinalen Lagerung kennt man nicht. Es wurde oben (§ 187) angedeutet, dass man wahrscheinlich die Form eines sehr flachen Kegels finden würde, dessen Abweichungen von regelmässiger Gestalt einen Schluss auf die herrschenden Strömungen gestatten würden.

Grösser gestaltet sich das Problem, wenn es sich um die Zusammensetzung und den Aufbau von Gebirgen handelt, welche aus jungeruptiven Gesteinen zusammengesetzt sind. Die Methoden der Untersuchung wurden in § 248 angegeben.

Fünfzehntes Kapitel.

Beobachtungen über den Bau der Gebirge.

§ 253. Wir haben es als eines der wesentlichen Ziele des Forschungsreisenden bezeichnet, ein Verständnis der Bodenformen zu gewinnen, d. h., den ursächlichen Zusammenhang von äusserer Gestalt, innerm Baue und den Vorgängen, welche beiden zu Grunde liegen, zu erfassen. Die Beobachtungen, auf welche in den vorhergehenden Kapiteln hingewiesen worden ist, beziehen sich auf die äusserlich gestaltenden Agentien und den stofflichen Bestand. Es erübrigt, die innere Architektur des durch die Gesteine aufgebauten Gerüstes zu erörtern. Die Betrachtung schliesst mit der Darstellung der Gebilde der Plastik, wie sie sich aus den verschiedenen Gestaltungsmomenten als deren letztes Resultat ergiebt.

Unter dem Namen „Gebirgsbau“ ist die innere Struktur aller Festlandsgebilde zu verstehen, gleichviel ob ihre Profillinie eine konvexe Gestalt habe, wie es bei den eigentlichen Gebirgen der Fall ist, oder ob sie eben oder konkav sei, wie bei den Ebenen und Thälern, welche man wegen ihrer äussern Gestalt als den Gegensatz von Bergen oder Gebirgen zu betrachten gewöhnt ist. Das Fundament für die Betrachtung des Gebirgsbaues in diesem Sinne besteht vornehmlich in der Feststellung der Lagerungsformen der geschichteten Gesteine, nicht nur weil sie den weitaus vorwaltenden Bestandteil in dem Baumateriale des der Beobachtung zugänglichen Teiles der Erdrinde bilden, sondern auch weil sich das Grundverhältnis des innern Gefüges zur äussern Gestalt wesentlich aus ihnen ergiebt. Erst in zweiter Linie treten dann die Eruptivgesteine ein, deren Lagerungsformen bereits erörtert worden sind.

A. Lagerungsformen des Schichtgebirges.

Man begegnet den Schichtgesteinen unter sehr verschiedenen Stellungen, deren Hauptunterschied darin besteht, dass sie in gewissen Fällen die Lage, welche sie ursprünglich angenommen hatten, noch annähernd oder ganz innehaben, in anderen aber aus derselben verschoben worden sind. Die Verschiebung kann mannigfaltige Form annehmen.

1) Ursprüngliche Lagerungsformen.

§ 254. Im allgemeinen sind die Schichtgesteine aus horizontaler Ablagerung im Meere oder in grossen Süsswasserbecken hervorgegangen. Wo man eine bedeutende Abweichung von der Horizontale findet, hat man es daher fast in allen Fällen mit einer nachträglich erfolgten Störung zu thun. Es kommen aber doch einige Fälle vor, in welchen die Ablagerung selbst schon in geneigter Stellung erfolgte. Man kann die folgenden ursprünglichen Ablagerungsformen unterscheiden.

a. Die horizontale Lagerung. — Dieselbe kann sich der Beobachtung in räumlich sehr beschränktem und in sehr ausgedehntem Massstabe darbieten. Wo ersteres der Fall ist, pflegt man eine Neigung von 1—2 °, welche für das Auge kaum merklich ist, noch als „söhlig“ zu bezeichnen. Doch sollten auch geringe Abweichungen von der Horizontale beachtet werden. Findet sie in Tafelländern konstant nach einer Richtung statt, so ist sie für viele Verhältnisse, insbesondere für den Abfluss

Fig. 83.

der Gewässer, von grosser Bedeutung. Auch auf die Gestaltung der Oberfläche kann sie erheblichen Einfluss ausüben, besonders wenn in den Schichten Gesteine von verschiedener Härte und Lösungsfähigkeit miteinander wechseln. Steht z. B. auf der in Fig. 83 dargestellten, als sehr ausgedehnt anzunehmenden Fläche *ac* bei *a* und *c* mürber Sandstein und bei *b* kieseliger Kalkstein oder festes Konglomerat an, so wird sich leicht in der durch *b* bezeichneten, weithin fortstreichenden Zone eine Anschwellung herausbilden, auch wenn die Schichten eine geringere Neigung haben als in der Figur dargestellt ist.

b. Die ursprünglich muldenförmige Lagerung. — In einem Becken oder Troge schmiegen sich die Sedimente den Wänden an und erhalten dadurch eine muldenförmige Gestalt. Das Verhältnis ist selten mit Sicherheit zu beobachten und im ganzen wenig bekannt. Wird eine gleichmässig suspendierte Trübe niedergeschlagen, so werden die Schichten ihre grösste Mächtigkeit auf dem horizontalen Boden haben und sich nach den höheren Teilen der geneigten Seitenwände hin auskeilen. Werden aber fortdauernd feste Stoffe von den Seiten oder von einzelnen Stellen derselben herzugetragen, so werden hier die Schichten, wie es bei Seebecken oder im Oceane der Fall ist (s. §§ 84, 189), am mächtigsten, am Boden hingegen um so dünner sein, je grösser bei gleicher Zufuhr die Ausdehnung des flachen Bodens ist.

c. Die ursprünglich periklinale Lagerung. — Diese Form besteht in einem allseitigen Abfalle von einer vertikalen Achse und wird durch die von ihr aus nach aussen abnehmende Dicke der einzelnen Schichten bezeichnet. Sie ist oben (S. 560) als ein charakteristisches Merkmal der Vulkane des Festlandes genannt worden, sollte sich aber ebenso bei den submarinen Vulkanen (§ 187) finden. Auch das aus der Zerstörung der Korallenriffe hervorgehende Material muss periklinal gelagert sein (§ 183).

d. Ursprünglich geneigte Schichtenstellung. — Der bei der muldenförmigen Lagerung genannte Fall der Bildung eines Schuttkegels mit geneigten Schichten tritt zuweilen in so grosser Ausdehnung auf, dass die Muldenform völlig zurücktritt. Es ist des Falles in China gedacht worden, wo man quer gegen die Streichrichtung mehrere Kilometer weit über die Köpfe gleichförmig geneigter Schichten hingeht, in welchen man ein aufgerichtetes System von Sedimentgesteinen zu sehen vermeint, während man es nur mit aussergewöhnlich ausgedehnten, ursprünglich geneigten Ablagerungen der genannten Art zu thun hat. Dieser Fall mahnt zur Vorsicht bei der Beurteilung ähnlicher Verhältnisse. — Ein anderer Fall, in welchem man auf Wegen von Hunderten von Kilometern gleiches Streichen und Fallen beobachtet, liegt im Urgneise vor. Es ist (S. 505) auf die Möglichkeit hingewiesen worden, dass diese Lagerung eine Wirkung der Flutwelle sein könne, welche sich in der werdenden festen Rinde der Erde bildete und sie in rhythmische Bewegung versetzte.

2) Einseitige Neigung der Schichten infolge nachträglicher Störung.

§ 255. Mit Ausnahme der genannten Fälle kann man bei jedem mächtigen Systeme nach der gleichen Richtung einfallender, einander paralleler Schichten annehmen, dass es infolge einer Störung aus seiner früher horizontalen Lage gewichen ist. Die Neigung kann unter verschiedenen Winkeln stattfinden. Sie kann flach, bis steil und sehr steil sein; die Schichten können vollkommen senkrecht („seiger“ oder „auf dem Kopfe“) stehen und selbst über die senkrechte Stellung hinaus „überkippt“ sein. Man findet einseitige Neigung oft auf grosse Strecken. Flach einfallende Schichten werden dann häufig, steil einfallende fast immer durch die Oberfläche abgeschnitten. Diese stellt die Fläche dar, bis zu welcher herab die Abtragung durch von aussen wirkende Agentien sich vollzogen hat. Geht man auf ihr hin, so bieten sich der Beobachtung die abgeschnittenen Querenden der Schichten oder die „Schichtenköpfe“. Man hat an ihnen das Streichen und Fallen festzusetzen und die Aufeinanderfolge der Schichtgesteine zu beobachten. Querrisse, Querthäler oder die Wände von Flusskanälen eignen sich meist noch besser zur Untersuchung als die Oberfläche. Jede Gruppe gleichartiger Schichtgesteine ist in ihrer Mächtigkeit zu bestimmen, welche dem Ausmasse des rechtwinkligen Abstandes der Schichtenflächen voneinander entspricht. Es können unter der Gleichartigkeit des Einfallens verschiedene Lagerungsverhältnisse verborgen sein. Man kann es (wie in Fig. 84) mit einer einseitig herabgesenkten oder gehobenen Folge regelmässig übereinander liegender Schichten zu thun haben. Der Beweis dafür ist dann hergestellt, wenn *b* jünger ist als *a*. Es ist darauf zu achten, ob der Einfallswinkel sich bei dem Fortschreiten nach höheren oder tieferen Schichten ändert, und ob diese Aenderung sich allmählich vollzieht, oder ob sie so plötzlich geschieht, dass man von einem Schichtensysteme, in welchem konstant das gleiche Fallen nach Richtung und Neigungsgrad herrscht, ohne Uebergang in ein anderes mit verschiedenem, aber wiederum gleichbleibendem Fallen kommt. Ferner ist, besonders in älterm und steilgestelltem Gebirge,

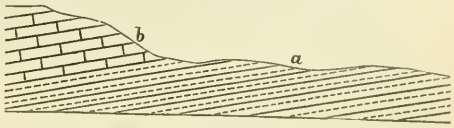

Fig. 84.

die Aufmerksamkeit darauf zu richten, ob die Reihe der Schichten, welche man in der Richtung quer gegen das Streichen nacheinander überschritten hat, bei Fortsetzung des Weges in umgekehrter Folge wiederkehrt, um sich dann vielleicht noch einmal in der zuerst beobachteten normalen Anordnung zu wiederholen. In diesem Falle würde das geneigte Schichtensystem eine in ihrem obern Teile abgetragene liegende Falte oder eine Reihe isokliner Falten darstellen. Wenn man z. B. bei einer Thalwanderung an einem Berggehänge die in Fig. 85 veranschaulichte Schichtenreihe aufgeschlossen sieht, so darf man aus der Reihenfolge *c–d–e–f–g–f–e–d–c–b–a–b–c–d* schliessen, dass man es mit Faltungen zu thun hat, deren ältestes Schichtenglied *a* ist, und die man sich in der durch die punktierten Linien angedeuteten Weise zu rekonstruieren versuchen kann. — Es tritt auch nicht selten der Fall ein, dass dieselbe Reihe von Schichten in gleicher Aufeinanderfolge einmal oder mehreremal wiederkehrt. Dann ist zu prüfen, ob eine Schuppenstruktur (§ 260) vorliegt. Dieser Fall ist in Fig. 86 veranschaulicht. Man könnte leicht glauben, es mit

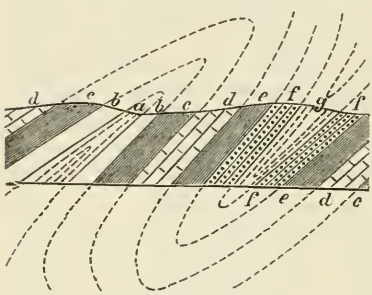

Fig. 85.

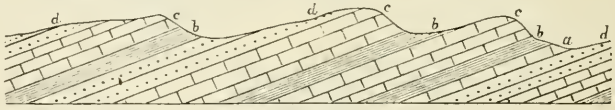

Fig. 86.

einem einzigen sehr mächtigen Systeme gleichartig wechselnder Schichten zu thun zu haben. Beweise dafür, dass ein nur von *a* bis *d* reichendes Schichtensystem in mehrfacher Uebereinanderschiebung vorliegt, erhält man: 1) aus Versteinerungen, 2) aus der Beobachtung der genauen Wiederkehr petrographisch charakterisierter Schichtfolgen, 3) aus einzelnen Unregelmässigkeiten an den Stellen, wo die oberste Schichtgruppe (hier ein Sandstein *d*) von der untersten (teils *a* und teils *b*) überlagert wird. — Verwerfung kann einen ähnlichen Effekt herbeiführen. Wenn man in dem Profile einer Thalwand mehrfache

Einlagerungen von Steinkohlenflözen zwischen Schieferthonen und Sandstein sieht, so ist es oft sehr schwer zu unterscheiden, ob wirklich mehrere Flöze vorhanden sind, oder, wie in Fig. 87,

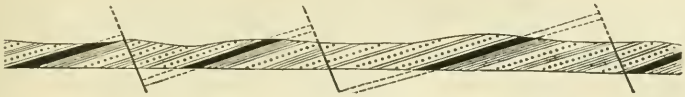

Fig. 87.

ein einziges, aber mehrfach verworfenes Flöz. Unzweifelhaft ist dies in dem in Fig. 88 dargestellten Falle, wo auch ein einseitiges Schichtenfallen stattfindet.

Fig. 88.

Es können also bei einseitig geneigter Schichtenstellung die folgenden Fälle vorliegen:

a. Die Schichtgesteine sind ursprünglich in geneigter Stellung abgelagert.
b. Das Schichtensystem ist durch einseitige Senkung oder Hebung in eine geneigte Lage gekommen. Je nach örtlicher oder zeitlicher Abstufung in der Einwirkung der Kraft kann der Einfallswinkel gleich bleiben oder sich allmählich ändern.
c. Zwei verschiedenaltrige Schichtensysteme, deren eines ungleichförmig auf dem andern lagert, können nach einer Richtung einfallen; dann ändert sich der Winkel plötzlich.
d. Die Schichten sind Teile von schiefen oder von isoklinen Falten.
e. Die Schichten sind Teile übereinander geschobener Schuppen.
f. Die Schichten sind durch Verwerfungen gebrochen.

Es kann auch eine Komplikation dieser Einzelfälle vorhanden sein.

3) Bruch und Absenkung.

§ 256. Bruch und Verwerfung. — Zu den gewöhnlichsten Erscheinungen im geschichteten Gesteine, wie in der Lithosphäre überhaupt, gehört das Vorkommen von Brüchen. Man sieht die

Kontinuität des Gesteines entlang einer vertikalen oder schief einfallenden Fläche, der Bruchfläche, gelöst, und diese setzt durch eine Reihe von Schichten oder ein ganzes Schichtensystem hindurch. Sie kann sehr geringe und ausserordentlich bedeutende Dimensionen haben. Ein grosses Kontinentalgebiet kann in seiner ganzen Erstreckung von einheitlichen Brüchen durchzogen sein. Sie finden sich in tafelartig gelagertem ebenso wie in geneigtem Schichtgesteine und können Faltungen des letztern quer oder diagonal durchsetzen.

Die Entstehung von Brüchen beruht in der Auslösung von Spannungsdifferenzen. Insoweit diese ihre unmittelbare Ursache in der Zusammenziehung des Gesteines durch Austrocknung oder durch Abkühlung aus erhitztem Zustande haben, kommen sie hier nicht in Betracht; die dadurch entstehenden Trennungsflächen gehören den grossenteils nur graduell von den Brüchen verschiedenen Klüften an, welche in § 262 ff. abgehandelt sind. In grösserm Massstabe werden Spannungsdifferenzen durch solche Vorgänge in der Unterlage veranlasst, welche die Tendenz haben, örtliche Unterschiede im Niveau hervorzubringen. Die überliegenden Gesteine suchen alsdann sich den Ungleichheiten anzupassen. Jene Vorgänge können ihren Sitz in geringer Tiefe haben, z. B. wenn sie in einer ungleichmässigen Volumenverminderung infolge der Lösung von Gestein durch die Wassercirkulation oder in einer lokalisierten Volumenvermehrung durch chemische Prozesse bestehen; Bruchbildungen von geringer Intensität aber grosser Zahl werden in der Regel die Folge sein. Die zu Grunde liegenden Vorgänge können aber auch ihren Ursprung in der Kontraktion des Erdinnern durch Wärmeverlust haben und werden dann Bruchbildung in grossartigem Massstabe veranlassen. Wahrscheinlich giebt es in den Erdtiefen auch Vorgänge, welche mit Volumenvermehrung verbunden sind. Dahin gehört insbesondere die gleichzeitig mit der Abkühlung des Planeten sich regional vollziehende Ueberführung zähflüssiger Magmen in den kristallisierten Zustand, welche vielleicht durch manche, die tektonischen Bewegungen begleitende Vorgänge örtlich gesteigert werden kann. Auch die dadurch entstehenden Spannungsdifferenzen würden ihre Auslösung in sehr ausgedehnten Brüchen finden. Zwischen den genannten Extremen giebt es unendlich viele Mittelstufen. Es ist gegenwärtig noch nicht möglich, aus der beobachtbaren Wirkung an der Oberfläche bestimmte Schlüsse auf die Art der

Vorgänge in der Tiefe zu ziehen. Doch wird es vielleicht gelingen, die Art des Ansatzes der Kräfte, welche die Bruchbildung verursachten, in einzelnen Fällen zu bestimmen. Zuweilen scheint eine Art von Torsion (s. § 266) stattzufinden, indem nach Daubrées Versuchen die Brüche eine gewisse Analogie mit denen haben, welche hervorgebracht werden, wenn eine feste Platte spröden Materials an den zwei entgegengesetzten Seiten in Schraubstöcke gespannt und einer von diesen um einen geringen Betrag gedreht wird, während der andere in unveränderter Lage bleibt.

Die beiden durch eine Bruchfläche getrennten Teile einer Schichtmasse befinden sich entweder in unveränderter gegenseitiger Lage oder sie sind gegeneinander verschoben. Die Richtung dieser Verschiebung kann von oben nach unten oder umgekehrt sein oder in der Horizontale liegen; sie kann auch diagonal sein, d. h. schief nach unten oder nach oben verlaufen. Ihr Ausmass kann sich auf wenige Centimeter beschränken, aber auch Hunderte und Tausende von Metern betragen. Diese Bewegung wird ganz allgemein als Verwerfung bezeichnet. Die Bruchfläche wird dadurch zur Verwerfungsfläche oder Dislokationsfläche.

Die einzelnen Arten der Verwerfung bieten sehr wesentliche Verschiedenheiten dar. Zunächst kann die Dislokationsfläche senkrecht stehen oder gegen den Horizont geneigt sein. In letzterm Falle sind die Winkel in der Regel steil; solche zwischen 45 und 90° sind weitaus vorwaltend. Doch ist die senkrechte Stellung selten; im allgemeinen fallen Dislokationsflächen schief, aber unter steilen Winkeln ein.

Die zwei Hauptfälle bestehen darin, dass in dem einen der „hangende Flügel", d. i. der auf der Dislokationsfläche ruhende

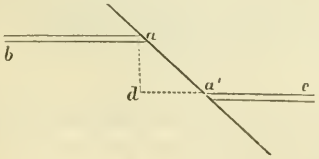

Fig. 89.

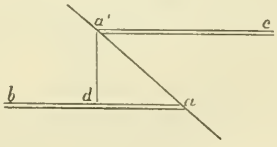

Fig. 90.

Teil, im Verhältnisse zu dem „liegenden Flügel" nach abwärts, im andern nach aufwärts verschoben erscheint. Sie sind in Fig. 89 und 90 dargestellt. In der erstern ist der Teil $a'c$ der

früher kontinuierlich gewesenen Schicht $b\,a\,c$ schief hinabgeglitten, in der zweiten schief nach aufwärts geschoben. Es ist klar, dass in dem ersten Falle eine Raumerweiterung in der Horizontalen um den Betrag $d\,a'$, d. h. eine Streckung rechtwinklig zur Streichrichtung der Bruchspalte, im zweiten hingegen eine Raumverminderung um den Betrag $d\,a$, d. h. ein Zusammenschieben in der Horizontale stattgefunden hat. In jenem ist die Streckung mit Hinabgleiten, in diesem das Zusammenschieben mit einem Aufwärtsschieben verbunden.

Man hat die beiden Formen der Dislokation als normale und abnorme Verwerfung bezeichnet. Doch dürfte es zweckmässiger sein, sich der Namen Abgleitung oder Absenkung für die sogenannte normale und der Bezeichnung Aufschiebung für die abnorme Verwerfung zu bedienen. Die letztere ist bei dem Bergbaue als „Wechsel" bekannt. Die Dislokationsfläche erscheint im ersten Falle als Abgleitungsfläche, im letzten als Aufschiebungsfläche oder Wechselfläche. Der Effekt auf das Mass der Streckung oder Zusammenschiebung im Raume vermindert sich selbstverständlich mit der grössern Steilheit des Einfallswinkels der Bruchspalte und wird gleich Null, wenn diese senkrecht steht.

Eine Dislokation in horizontaler Richtung ist als laterale oder Seitenverschiebung zu bezeichnen. Kombiniert sich diese Richtung mit einer der vorhergenannten, so kann man von einer schiefen Absenkung mit einer schiefen Aufschiebung sprechen. Zur Beobachtung aller einschlägigen Erscheinungen sind Bergwerke am besten geeignet, besonders solche im Schichtgebirge, sodann Eisenbahntunnels, Strasseneinschnitte und die Wände von Querthälern. Der geübte Geolog vermag auf ihr Vorhandensein aus den Lagerungsverhältnissen zu schliessen. Ihre Auffindung ist eine der wichtigsten Aufgaben bei der Aufnahme geologischer Karten. Verwerfungen gehören zu den häufigsten Erscheinungen, sind aber an Zahl und Betrag regional sehr verschieden. Der Gesamtausschlag, den sie auf die räumliche Trennung früher zusammenhängend gewesener Teile derselben Schicht oder auf das Zusammendrängen derselben auf einen Bruchteil des früher in Anspruch genommenen Raumes haben können, ist zuweilen sehr bedeutend.

§ 257. Die Absenkung. — Die sogenannte normale Verwerfung, welche in Abgleitung oder Absenkung besteht, ist am häufigsten und am leichtesten zu beobachten. Es können hierbei eine Reihe verschiedener Fälle eintreten:

a. Bei einer einfachen Abgleitung hat sich nur das Herabsenken eines Bruchflügels gegen den andern entlang einer einzelnen Bruchfläche vollzogen.

b. Die Abgleitung kann mit einer Schleppung der Schichten verbunden sein. Man hat dies als eine monoklinale Falte oder als eine Flexur (Suess) bezeichnet; wir behalten die letztere Benennung bei, da die Lagerungsform mit dem Begriffe

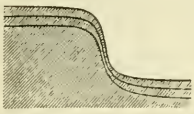

Fig. 91.

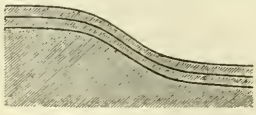

Fig. 92.

einer Falte nicht übereinstimmt. Denn bei dieser ist Zusammenschub, bei der Flexur aber Ausdehnung das leitende Prinzip. Man kann die stehende und die geneigte Flexur unterscheiden. Aus der Darstellung in Fig. 91 und 92 ist ersichtlich, dass im ersten Falle wahrscheinlich eine senkrechte, im zweiten eine geneigte Bruchfläche in den tieferen Schichten zu Grunde liegt.

Fig. 93.

c. Die Absenkung ist häufig nicht auf eine einzelne Bruchfläche beschränkt, sondern vollzieht sich entlang einer Reihe nahezu paralleler Bruchflächen. Man kann eine solche Lösung

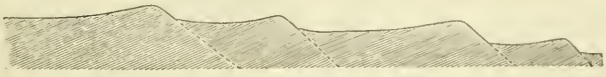

Fig. 94.

des Verbandes als Staffelbruch, die Bewegung als Staffelgleitung oder Staffelsenkung bezeichnen. An jedem Bruche oder an einzelnen derselben kann die Flexur an Stelle der Gleitung treten. Es finden sich hierbei zwei Fälle. Entweder breitet sich jede einzelne Staffel ebenflächig bis zum Abfallsrande aus (Fig. 93) oder jede steigt gegen den Rand hin an (Fig. 94). Der erstere Fall deutet auf grössere Raum-

erweiterung als der letztere; doch ist dieser der häufigere. Die randlich aufgebogenen Teile bilden zuweilen Gebirge mit ebenmässiger Höhenlinie, welche sanft in die obere Staffel übergehen und mit steilem Bruchrande nach der tiefern Staffel abfallen. Dies findet sich z. B. bei den Staffelabfällen an der Ostseite des Tafellandes von Schansi (China), bei denen des Kaplandes und, wie es scheint, auch bei denen, über welche man von dem Tafellande von Afghanistan nach dem Induslande hinabsteigt. Dies sind aufgebogene Tafellandstaffeln. — Es scheint, dass Staffelbrüche zuweilen als sekundäre Erscheinungen einer grössern Gleitung infolge einer im Hangendflügel durch die Reibung entstehenden Spannung auftreten, wie dies in Fig. 95 veranschaulicht ist. Durch Eindringen mineralischer Lösungen oder Aufsteigen mineralhaltiger Dämpfe können Systeme paralleler Gänge entstehen. Dieses von Becker für den Comstockgang entnommene Verhältnis ist vielleicht auf einzelne Fälle von Gebirgsstaffeln anwendbar.

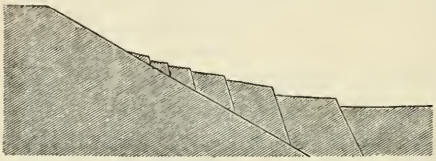

Fig. 95.

d. Die Staffelsenkungen können gleichsinnig oder wechselsinnig sein, je nachdem sie sämtlich nach derselben Richtung oder nach verschiedenen Richtungen erfolgt sind. Die Wechselsinnigkeit ist bei den durch Bergbau aufgeschlossenen Verwerfungen der Steinkohlengebirge und bei Tunneldurchschnitten häufig zu beobachten (Fig. 96). Formgebend für die Gebirgsbildung wird sie in zwei, betreffs ihres Effektes einander entgegengesetzten Fällen. Der eine besteht darin, dass ein zwischen zwei Bruchflächen von mehr oder weniger parallelem Streichen eingeschlossener Erdrindenteil hinabsinkt. Es wird dadurch eine furchenartige Vertiefung veranlasst. Die Form ist von Suess als Grabensenkung bezeichnet worden. Die Kluftflächen können senkrecht niedergehen, wie es bei dem auf S. 535 erwähnten Beispiel des Yosemitethales der Fall zu sein scheint; oder sie können gegeneinander nach der Tiefe konvergieren und dann entweder einfach oder in Staffeln abgesetzt sein. Letzteres findet bei den Grabensenkungen des Toten

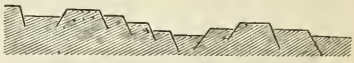

Fig. 96.

Meeres und des Oberrheinthales zwischen Schwarzwald und Vogesen statt. — Der andere Fall besteht darin, dass von einer festbleibenden Mittelzone aus Absenkungen nach zwei voneinander hinweggekehrten Richtungen stattgefunden haben. Jene Mittelzone bleibt dann als ein erhobener Teil stehen; sie wird von Suess als Horst bezeichnet. Beide Formen sind von hoher Wichtigkeit, besonders die letzte. Der Geolog hat ihre Existenz auch dort zu erkennen, wo infolge späterer Einflüsse durch zerstörende Agentien die durch die wechselsinnigen Staffelsenkungen geschaffenen Unebenheiten in der Plastik verschwunden sind. In Fig. 97 und 98 sind die Erscheinungen der Graben-

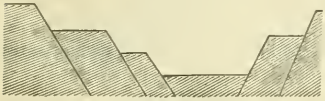

Fig. 97

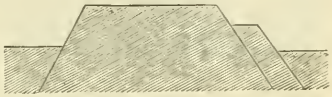

Fig. 98.

versenkungen und der Horste schematisch dargestellt und zwar die am häufigsten vorkommenden, auf schiefen Dislokationsflächen beruhenden, daher auf Zerrung und Streckung deutenden Fälle. Da bei dem Vorkommen in der Natur die Oberfläche denudiert ist, ist man auf die Beobachtung der Brüche und der an der Nebeneinanderlagerung von jüngeren und älteren Gebilden erkennbaren Absenkung angewiesen, um Hohlformen als Gräben und aufragende Berge als Horste zu erkennen.

e. Als eine besondere Form normaler Versenkungen sind die Kesseleinbrüche zu bezeichnen. Sie entstehen, wenn dem Gesteine auf örtlich beschränktem Raume die Unterlage entzogen wird. Dies kann durch Fortführung einer Masse mittelst Lösung veranlasst werden, z. B. eines Gipskörpers oder einer Steinsalzlinse. Im Kalksteingebirge ist die Erscheinung häufig, und in kleinem Massstabe ereignet sie sich in Gegenden, wo Bergbau getrieben wird. Es scheint, dass sich in der Regel um ein mittleres Bruchfeld konzentrische Brüche bilden, an denen ein staffelförmiges senkrechtes Abgleiten stattfindet. Es kann dadurch Anlass zur Entstehung von Seen gegeben werden (§ 120). Eine typische Erscheinung sind die Kesseleinbrüche für vulkanische Gegenden. Es wurde oben (S. 566) auf die kreisrunden Kessel hingewiesen, aus denen sich viele Vulkane, darunter einige der bedeutendsten, erheben. Der Durchmesser derselben kann mehrere Meilen betragen.

f. Nur durch den grössern Umfang und das Verhältnis von Breite und Höhe der Staffeln sind die Schüsselsenkungen und Beckensenkungen von den vorigen verschieden. Sie treten in verhältnismässig kleinem Massstabe auf, wo Sedimente in muldenförmiger Lagerung eine Bucht ausfüllen, wie es bei Deltas häufig der Fall ist. Das an einer andern Stelle (§ 87) erwähnte Nachsinken findet wahrscheinlich in der Form von Staffeln mit schiefen Gleitflächen statt. Man kennt eine analoge Erscheinung in grösserm Massstabe bei Tertiärbecken, von denen das Meer sich zurückgezogen hat, z. B. im Wiener Becken, wo Staffeln mit geneigten Gleitflächen sicher erwiesen sind. Wiederum in grösserm Massstabe beobachtet man ein entsprechendes Verhalten in weiten, mit Meeressedimenten verschiedenen Alters in Flächenausbreitung erfüllten Erdräumen, welche von älterm gefalteten Gebirge umrahmt werden. In solcher Weise ist sie von Suess für die Schichtungstafelländer zwischen Schwarzwald und Böhmerwald erwiesen worden. Derselbe Forscher hat ähnliche, durch Horste unterbrochene Staffelsenkungen in den alpinen Umrandungen des adriatischen Beckens erkannt. Dies weist darauf hin, dass geotektonische Vorgänge grossen Stils die Veranlassung der Erscheinung sein können. Es mag hierbei erwähnt werden, dass gewisse Thatsachen auf eine Umrandung des pacifischen Beckens durch Staffelbrüche grössten Massstabes hindeuten.

g. Während die Erscheinungen der letzten Klasse, wo sie im kleinen auftreten, schwierig zu beobachten sind und, wo sie in den Kontinentalbau gewaltig eingreifen, nur durch die Kombination zahlreicher, oft weit zerstreuter Untersuchungen, zu denen aber der Reisende wichtige Beiträge liefern kann, gefolgert werden können, bieten sich der Beobachtung unmittelbare Verwerfungserscheinungen einer andern Klasse. Dies sind die Quer- und Diagonal-Absenkungen von Faltungsgebirgen. Die letzteren sind meist in ihrem Verlaufe so regelmässig, dass jede grosse Abweichung leicht in die Augen fällt, besonders wenn Thalbildung damit verbunden ist.

Verfolgt man einen mit Absenkung verbundenen Bruch in seinem Streichen, so bleibt er entweder, so sehr auch der Betrag der Senkung wechseln mag, in seiner ganzen Erstreckung gleichförmig, insofern die Neigung der Bruchfläche nach derselben Seite gerichtet ist, oder er erweist sich als ungleichförmig, indem die beiden Flügel die Rolle wechseln. Dies

kommt besonders bei Brüchen von grosser Längenausdehnung vor. Man sieht dann an einer mittlern Stelle die beiden Flügel ohne Verwerfung nebeneinander stehen. Nach einer Richtung von derselben aus ist das Einfallen der Bruchfläche dem der andern Richtung entgegengesetzt, sodass dieselbe die Gestalt einer Schraubenfläche annimmt. Man kann dies als Schraubenbruch bezeichnen resp. als Schraubensenkung, wenn die Verwerfung nach beiden Seiten normal ist. Derselbe Flügel, welcher nach einer Richtung der liegende ist, wird daher nach der andern der hangende. Die äussere Erscheinung kann die Formen einer einfachen Absenkung, einer Flexur und eines Staffelbruches darbieten, und diese können streckenweise einander ersetzen. Wahrscheinlich liegt allen Schraubenbrüchen Torsion zu Grunde.

4) Bruch und seitliche Schiebung.

Die seitliche Verschiebung an Bruchflächen ist eine gewöhnliche Erscheinung. Sie kann ohne Absenkung eintreten, aber auch mit dieser verbunden sein. Für ihre Kenntnis ist gleichfalls das auf praktischen Rücksichten beruhende Studium in Bergwerken grundlegend gewesen. Die Gleitrichtung des Hangendflügels ist häufig an der Streifung des Lettenbesteges von Erzgängen und tauben Klüften zu erkennen. Sie ist selten unmittelbar, sondern meist schief nach abwärts gerichtet, zuweilen auch ganz horizontal. Deutlich tritt die laterale Verschiebung an Gängen hervor, welche von einem andern Gange durchsetzt und „verworfen“ werden. In der als Horizontalprojektion aufzufassenden Fig. 99 ist es ersichtlich, dass zwei mit 1 bezeichnete Gänge durch den Gang 2 seitlich verworfen sind, während dieser eine ähnliche Verschiebung durch den Gang 3 erfahren hat. Hierbei sind sämtliche Gänge als vertikal stehend angenommen. Sind sie geneigt, so kann dasselbe Bild durch einfache gerade Absenkung hervorgerufen werden. — In ähnlicher Weise findet man, dass ein Schichtensystem, welches von einer Kluft oder einem Gange durchsetzt wird, jenseits dieser Störungslinie seitlich verschoben erscheint, doch ist auch in solchem Falle zu beachten, dass nur bei vertikaler Schichtenstellung die Entfernung der beiden Stellen, an denen eine und dieselbe Schicht ihr Ende

§ 258.

Fig. 99.

auf der einen und auf der andern Seite der Kluft erreicht, den Betrag der lateralen Verschiebung genau ergiebt, während bei geneigten Schichten die vertikale Verschiebung allein hinreicht, um die seitlichen Enden einer gebrochenen Schicht voneinander zu trennen. Da das Wasser die Abgleitungsflächen mit Vorliebe zur Ausbildung von Erosionsthälern aufsucht, so giebt sich die laterale Verschiebung durch Vergleichung der Schichtenstellung an den entgegengesetzten Wänden von Querthälern zu erkennen, wie dies in Fig. 100 durch die Lage der Schichtgruppe *a* zu den Seiten eines Flussthales veranschaulicht ist. Auch Längsverwerfungen in Faltungsgebirgen können mit lateraler Verschiebung verbunden sein; doch wird sich dies selten nachweisen lassen.

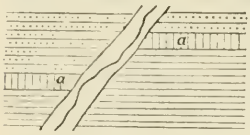

Fig. 100.

Die Erkenntnis, dass in Faltungsgebirgen Querverwerfungen vorkommen und diese in der Regel, vielleicht immer, mit lateraler Verschiebung verbunden sind, ist für das Verständnis des Gebirgsbaues von hoher Wichtigkeit geworden. Ueberall verdient die Erscheinung die eingehendste Beachtung. In den Alpen ist sie an vielen Stellen bekannt. Ein durch zwei derartige Bruchflächen aus dem Gebirge quer oder diagonal herausgeschnittener Gebirgsteil wurde von Suess ein Blatt genannt. Wie bei den Absenkungen vollzieht sich auch bei seitlichem Drucke die Auslösung der Spannungsdifferenzen in der Regel in mehreren gleichsinnig gerichteten Verschiebungen, sodass man von Staffelverschiebungen und Staffelblättern reden kann. Fig. 101 giebt ein schematisches Bild der durch diese Vorgänge herbeigeführten Verschiebungen. Der Bogen stellt in seinem punktierten Teile die ursprüngliche Lage einer Faltungszone dar; die Pfeile geben die Richtung und relative Stärke der schiebenden Kraft an. Die entstehenden Zerreissungen und Verschiebungen können zahlreich sein, dicht nebeneinander liegen und aus geringen Einzelbeträgen sich zu einem grössern Gesamtausmasse steigern. Es kann aber auch die Zerreissung an wenigen, voneinander entfernt liegenden Stellen stattfinden und doch die Verschiebung denselben Betrag erreichen wie im ersten Falle. Noch häufiger als bei der Absenkung findet ein

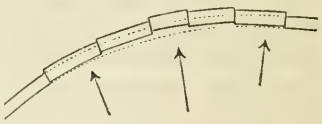
Fig. 101.

Schleppen der Schichten statt; es giebt eine Schiebungsflexur im Gegensatze zu der vorher betrachteten Senkungsflexur.

5) Schichtenfaltung.

§ 259. Während die Absenkung fast in allen Fällen auf einer Streckung und Raumerweiterung beruht und auch die seitliche Schiebung mit einer Zerrung verbunden ist, ist die viel augenfälligere Erscheinung der Schichtenfaltung das Produkt eines Zusammenschiebens auf einen kleinern Raum. Dies gilt in erhöhtem Grade von der eng mit ihr zusammenhängenden Aufschiebung, wie in § 256 angegeben wurde.

Es sind jedoch zwei der Faltung äusserlich ähnliche Fälle auszuscheiden, welche eigentlich in eine besondere Kategorie zusammengefasst werden müssten, da sie auf besonderen Ursachen ganz anderer Art beruhen. Bei ihnen findet eine einzige Wölbung nach aufwärts oder nach abwärts statt. Die Formen der erstern Art kann man als Kuppelwölbungen bezeichnen. Sie sind in Amerika über Lakkolithen (§ 234) nachgewiesen worden, dürften aber eine häufiger vorkommende Erscheinung in der äussern Hülle von diesen, wie auch vielleicht in derjenigen von Batholithen sein. Man sollte sie ferner an solchen Stellen als möglich voraussetzen, wo eine lokalisierte Volumenvermehrung in einer tiefern Schicht (z. B. durch Verwandlung von Gips in Anhydrit) stattfindet. Ihnen gegenüber steht die Kesselmulde, welche durch das Nachsinken horizontaler Schichten an solchen Stellen, wo durch Lösung ein unterirdischer Hohlraum gebildet wird, zu erklären ist. Beides sind jedoch nur örtliche Erscheinungen, welche zwar an sich Interesse haben, wo immer sie vorkommen (s. § 120 Nr. 26), aber eine nennenswerte Rolle in der allgemeinen Architektonik nicht spielen.

Von ungleich grösserer Wichtigkeit im Gebirgsbaue ist die faltige Biegung der Schichten, welche in dem seitlichen Zusammenschieben einer ebenflächig ausgebreitet gewesenen Schichtmasse beruht. Da der Raum nach unten ausgefüllt ist, kann die Faltenbildung, mit seltenen Ausnahmen, nur in einer Emporwölbung bestehen. Indem es nun aber kaum vorkommt, dass eine Falte isoliert auftritt, sondern stets mehrere derselben einander parallel verlaufen, entsteht zwischen je zwei Wölbungen eine Mulde, deren Boden jedoch, wenn eine andere Bewegung in der Erdrinde nicht hinzukommt, wahrscheinlich nie tiefer liegt

als die vormalige ebenmässige Fläche. Wölbung (oder „Sattel“) und Mulde entsprechen zwar äusserlich dem Wellenberge und Wellenthale des bewegten Wassers, sind aber als Resultat aktueller Zusammenschiebung in ihrem Wesen von den Wasserwellen durchaus verschieden. Das genetisch Formgebende ist die Wölbung; da aber morphographisch die Mulde eine gleiche Bedeutung hat, so bezeichnet man als Falte die in Fig. 102 für zwei verschiedenartige Fälle im Querschnitte dargestellte Kombination eines Gewölbes und einer Mulde. Beiden gemeinsam ist die ausgesprochene Längsrichtung, deren Ausmass dasjenige der Querachse meist um ein Vielfaches übersteigt. Während aber die Ausdehnung der Längsachse einer Falte von der ursprünglichen Dimension der ungefalteten Schichten kaum verschieden ist, bleibt die Querachse um einen erheblichen Betrag hinter derselben zurück. Der Gesamteffekt der Faltung ist eine Raumverminderung in der Richtung quer gegen die Längsachse. Die Ursache derselben kann nur in einem ungefähr in der Richtung der Horizontale, d. i. der Tangente der Erdoberfläche, rechtwinklig zur Längsachse wirkenden Drucke beruhen, welchem sich auf der andern Seite der Falte ein Widerstand bot. Es ist daher bei jeder Falte eine Stossseite und eine Widerstandsseite zu unterscheiden. Wie die Falten, welche man durch Zusammenschieben eines auf ebener Fläche ausgebreiteten Tuches erhält, verschiedene Gestalt und Anordnung annehmen, je nachdem man den Stoss von einer eng begrenzten Stelle oder gleichmässig von einer Linie aus ansetzt, so lässt der wechselnde Verlauf der Schichtenbiegungen auf eine örtliche Aenderung der Stosskraft in Hinsicht auf Intensität und Art des Ansatzes schliessen. Wie bei dem Tuche, herrscht das Bestreben, an der Stelle der stärkern Stosswirkung die Falten konvexer zu gestalten und die benachbarten, weniger stark bewegten Teile derselben gleichsam mitzuschleppen. Es kann daher in gewissen Strecken eine intensivere, seitlich davon eine sich allmählich abschwächende Faltung stattfinden, falls nicht Querbrüche den mittlern, am stärksten gestossenen Teil herauslösen und die Uebertragung der Kraft auf die seitlichen Teile verhindern. Vollzieht sich die volle Ausbildung der Falte, so werden zugleich die seitlichen Teile bogenförmig zurückweichen, und zwar umsomehr, je intensiver der Stoss auf den mittlern Teil erfolgt.

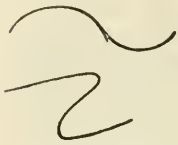

Fig. 102.

In grossen Regionen der Erdoberfläche ist die Faltung der Schichtgebilde das Grundprinzip der Gebirgsbildung und tritt in endlosem Wechsel auf. Sie erlangt dadurch eine hohe Bedeutung.

Man unterscheidet stehende und liegende Falten. Die stehenden sind entweder gleichförmig oder ungleichförmig, je nachdem eine vom Scheitel gezogene Lotlinie den Querschnitt des Sattels halbiert (Fig. 103 a) oder in zwei ungleiche Teile zerlegt (Fig. 103 b), deren einer auf Null herabgehen kann, wenn die Lotlinie mit einem der beiden Schenkel zusammenfällt (Fig. 103 c). Ist ihre Lage gänzlich jenseits der letzteren, so spricht man von einem liegenden Gewölbe und einer liegenden Falte (Fig. 103 d). Das ungleichförmige stehende Gewölbe ist auch als das normale bezeichnet worden. Bei einer stehenden Falte wird die Lagerung der Schichten des Gewölbes antiklinal, diejenige der Mulden synklinal genannt. Eigentlich müssten beide Bezeichnungen auch für das relative Verhältnis der beiden Gewölbeschenkel und der beiden Muldenschenkel bei liegenden Falten angewendet werden, doch hat man sich an die angegebene Beschränkung der beiden Ausdrücke gewöhnt.

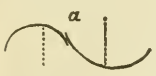

Fig. 103 a.

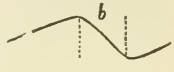

Fig. 103 b.

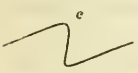

Fig. 103 c.

Fig. 103 d.

Als Achsenebene bezeichnet man die Ebene, welche den Krümmungswinkel der Gewölbe halbiert. Man kann jedoch auch von Achsenebenen der Mulden sprechen; sie pflegen den ersteren parallel zu sein. In Fig. 104 sind mit *a a* die Gewölbeachsen, mit *b b* die Muldenachsen bezeichnet.

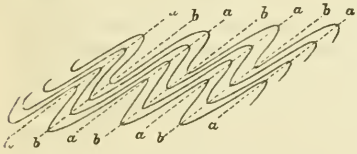

Fig. 104.

Solche Falten, bei denen infolge mehrfach wiederholter starker Umbiegung die Schenkelflächen nicht nur untereinander, sondern auch den Achsenebenen parallel sind, bezeichnet man als isoklinal. Sie sind stets dichtgedrängt und bekunden eine hochgradige Zusammenschiebung.

Wenn zwei Muldenachsen nach der Tiefe konvergieren, so stehen die Schichten fächerförmig (Fig. 105). Wahrscheinlich

wird diese, den kristallinischen Kernen mancher Hochgebirge, wie der Schweizer Alpen, eigentümliche Anordnung dadurch hervorgebracht, dass die tief gelegenen Teile isoklinaler Falten gegeneinander gepresst werden, während der geringere Widerstand in den oberen Teilen zusammen mit der Schwerkraft dort ein Auseinandergehen gestattet.

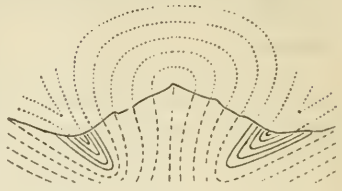

Fig. 105.

6) *Bruch und Ueberschiebung.*

§ 260. Eine Schiebung nach vorwärts und aufwärts hat in allen den Fällen stattgefunden, wo die zu beiden Seiten einer geneigten Verwerfungsfläche ausgeführte Beobachtung zeigt, dass in gleichem Niveau im Hangendflügel ältere Schichten auftreten als im Liegendflügel (s. Fig. 90 auf S. 589). Die Aufschiebung kann in eine Ueberschiebung verwandelt werden, welche daran kenntlich wird, dass man ältere Schichtgebilde in unmittelbarer Auflagerung auf erheblich jüngeren findet. Dem Prozesse der Aufschiebung und Ueberschiebung muss, gerade wie bei der Absenkung, die Bildung eines Bruches vorangegangen sein. Aber während in jenem Falle die Bewegung entlang der Bruchfläche nach dem Gesetze der Schwere geschah, vollzieht sie sich hier demselben entgegen; und während dort Zerrung, Raumerweiterung und Verminderung der Dicke der Erdrinde stattfanden, waltet hier ein Zusammenschieben, die Unterbringung einer gestreckten Schichtmasse auf einen kleinern Raum und eine Verdickung der Erdrinde. Dort ist der Zug das Veranlassende, und zu der durch ihn gegebenen horizontalen Komponente kommt eine vertikale mit der Richtung nach abwärts; bei der Ueberschiebung liegen Stoss und Druck zu Grunde; auch hier ist eine Komponente horizontal, aber im entgegengesetzten Sinne, eine zweite ist vertikal, aber mit der Richtung nach aufwärts. Die letztere ist in vielen Fällen nur eine Ablenkung der horizontalen Bewegung infolge der Stauung an dem Widerlager und vollzieht sich unter starker Reibung. Doch ist ihre Ursache wahrscheinlich häufig von anderer Art und mit den Vorgängen verbunden, welche die Bewegung ursprünglich veranlassten. Es ist klar, dass Faltung und Ueberschiebung eng miteinander verwandt sind. Daher ist auch die letztere nicht nur räumlich häufig

an die erstere gebunden, die beiden Bewegungen sind auch in der Regel gleichsinnig gewesen und werden ineinander verwandelt. Wo mit dem Prozesse der Faltung die Bildung eines Längsbruches verbunden ist, da wird man kaum die Ueberschiebung vergeblich suchen. Aber wie die Faltung allein vorkommt, so auch die Ueberschiebung ohne dieselbe.

Ob die lateral wirkende Kraft in erster Linie die Bildung eines Bruches oder diejenige einer von grösseren Brüchen nicht durchsetzten Falte zur Folge hat, hängt ab: 1) von dem Grade der Biegsamkeit des Gesteines, welche durch thonige Beimengung befördert wird; 2) von der Schnelligkeit der Bewegung im Verhältnis zur Stärke des Druckes; 3) von der Belastung, indem stark belastete Schichten in grösseren Erdtiefen auch bei grosser Sprödigkeit noch biegsam und dehnbar sind, während in der Nähe der Oberfläche dasselbe Gestein unter sonst gleichen Verhältnissen häufig brechen würde; 4) von der Dauer der Einwirkung des Druckes, indem die Fortdauer desselben eine schiefgestellte Falte in der Achsenebene sprengen und den hangenden Teil über den liegenden hinwegzuschieben vermag.

Die Kenntnis der Ueberschiebungen ist noch unvollkommen. Da sie zu den wichtigsten Erscheinungen bei der Gebirgsbildung gehören, sind vielfache neue Beobachtungen sehr erwünscht, besonders in solchen Gebirgen, bei welchen Vegetationslosigkeit den Bau klar zu erkennen gestattet. Es lassen sich gegenwärtig nur zwei Fälle unterscheiden:

a. Die einfache Aufschiebung ohne Faltung. Man nimmt sie häufig wahr, aber wie es scheint nur an solchen Stellen, wo die Beobachtung sich auf die Bewegung zu beiden Seiten einer Bruchspalte beschränkt und die höheren Teile durch Denudation entfernt sind. Es ist nicht sicher, ob die Erscheinung gänzlich ohne Faltung eintreten kann und ob nicht vielmehr in solchen Fällen die gefalteten Teile verschwunden sind. Die Aufschiebung kann in staffelförmiger Wiederholung stattfinden.

b. Die Schuppenstruktur. Dieser Name wurde von Suess einer bekannten und in Faltungsgebirgen häufig beobachteten Form der Anordnung gegeben, wobei oft in auffallend gleichförmiger Lagerung eine und dieselbe Schichtenfolge sich in einem Querschnitte des Gebirges mehrfach in solcher Weise wiederholt, dass über den jüngsten Schichten derselben unmittelbar wieder die ältesten lagern, wie dies schon bei der Erklärung zu Fig. 86

(S. 586) angegeben wurde. Man würde die Ursache der Erscheinung leichter verstehen können, wenn nicht diejenigen Teile, welche den Schlüssel zu geben vermöchten, einesteils durch Denudation entfernt, anderenteils im Innern des Gebirges verborgen wären. Zur Erklärung kann man annehmen, dass eine Reihe isokliner Falten in ihren Achsenebenen gesprengt und die oberen Teile nach vorn geschoben wurden, sodass nur eine Reihe oberer Hälften von Falten übereinander lagern. Die Schuppenstruktur würde dann nur als eine durch Fortwirken der schiebenden Kraft ins Extreme ausgebildete faltige Ueberwallung erscheinen. Es ist versucht, in Fig. 106 diesen Vorgang annähernd zur Anschauung zu bringen. Wird die obere Hälfte der linksseitigen Falte auf der (durch die gestrichelte Linie bezeichneten) Achsenebene nach vorn geschoben, so kann a an den Ort a^1 zu liegen kommen. Denudation würde die Spuren der bei a vorhandenen Schichtenbiegungen entfernen. Im Innern des Gebirges würde eine Faltenmulde liegen und der Beobachtung verborgen sein. Schon bei der faltigen Ueberwallung würde der liegende Faltenflügel gestreckt, zerrissen und zum Teile zerdrückt werden. An der weitern Vorwärtsbewegung würde er überhaupt nicht teilnehmen. — Es ist jedoch möglich, dass durch eine Staffelreihe von einfachen Aufschiebungen ein ähnliches Resultat herbeigeführt werden könnte.

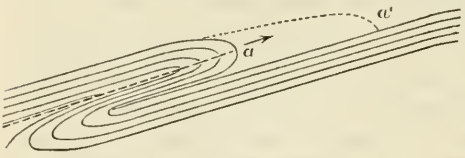

Fig. 106.

Es ist ein charakteristisches Merkmal für den Aussenrand vieler Gebirge, z. B. für den Nordrand der Alpen und den Südrand des Himalaya, dass die älteren Formationen, welche entweder ineinander gefaltet oder in Schuppenstruktur angeordnet sind, entlang weit ausgedehnten Linien über die jüngeren hinweggeschoben worden sind. (Miocän wird durch Eocän, dieses entweder durch Kreide oder, wie in Voralberg, durch Trias überlagert.) Ein ähnliches, sehr grossartiges Verhältnis ist am Nordrande der Ardennen durch die Aufschlüsse des Steinkohlenbergbaues nachgewiesen worden und hat überraschendes Licht auf die tektonische Geschichte dieser Gegend geworfen. Hier war die Untersuchung eine äusserst schwierige. In anderen Fällen können an der Hand einiger weniger Versteinerungen

und sorgsam aufgenommener Profilzeichnungen die grössten Ueberschiebungen, ebenso wie kleine Erscheinungen derselben Art, leicht nachgewiesen werden. Wo immer sie vorhanden sind, sollte man sie im Fortstreichen verfolgen und möglichst genaue Bilder der Tektonik entwerfen.

B. Relative Ablagerungszeiten des Schichtgebirges.

Es ist ein Ziel der geologischen Forschung, die verschiedenen Phasen morphologischer Entwicklung, welche jedes Gebirge und jeder Teil der Erdoberfläche überhaupt durchlaufen hat, zu ergründen, um daraus die Geschichte der Kontinente abzuleiten. Die im vorhergehenden erörterten Lagerungsformen zeigen die Umgestaltungen, welche ein einzelnes Schichtensystem erlitten haben kann. Es kommt nun weiter darauf an, das Zeitalter kennen zu lernen, in welchem jedes von ihnen abgelagert wurde, sowie die Zeit oder die Zeiten, in welchen die Lagerungsform eine Umgestaltung erfahren hat. Das Zeitalter der Ablagerung kann als ein absolutes bezeichnet werden, insofern sich aus der Versteinerungsführung diejenige Epoche der Erdgeschichte ableiten lässt, in welcher die Schichten abgesetzt wurden, als ein § 261.

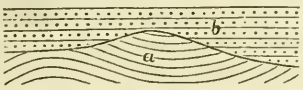

Fig. 107.

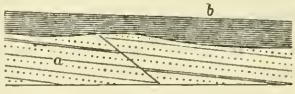

Fig. 108.

relatives insofern, als es sich um ein Früher oder Später der Bildung im Vergleiche zu anderen Schichtgebilden derselben Gegend handelt. Es ist gewöhnlich als ein günstiger Fall zu bezeichnen, wenn es gelingt, in mehreren wichtigen Schichtgruppen bestimmbare organische Reste zu finden. Betreffs der anderen ist man in der Regel darauf angewiesen, das relative Altersverhältnis zu jenem zu bestimmen. Dazu ist es erforderlich, die Beziehungen der Lagerung des einen zum andern durch sorgfältige Beobachtung festzustellen. Sie sind am einfachsten, wenn auf einem ebenmässig ausgebildeten Schichtensystem *a* ein anderes, *b*, gleichförmig aufgelagert ist, wie in Fig. 84 (S. 585). Ist aber *a* gefaltet oder verworfen (wie in Fig. 107 und 108) und *b* darüber horizontal gelagert, so hat zwischen der Ablagerung von beiden Schichtgruppen eine Kraftäusserung stattgefunden, welche innere Bewegung verursachte und eine Phase in der

Gebirgsbildung bezeichnet. Dieselbe kann von kürzerer oder längerer Dauer gewesen sein. Es kann dann *b* mit *a* gemeinschaftlich eine zweite Phase von Bewegungen erfahren haben und eine dritte Schichtgruppe *c* horizontal über beiden gelagert sein (Fig. 109). Dann ist das Verhältnis von *a* zu *b* und dasjenige von *b* zu *c* festzustellen. Es handelt sich also immer um die gegenseitigen Beziehungen von zwei Schichtensystemen an den Flächen ihrer Berührung.

Fig. 109.

Je vollkommener dieselben durch alle an dem Aufbaue eines Gebirges teilnehmenden Schichtensysteme verfolgt und die Lagerungsformen von diesen im einzelnen beobachtet werden, desto ausgiebiger wird es gelingen, die Entstehungsgeschichte des Gebirges zu erkennen. Eine Zusammenstellung der wesentlichen Formen gegenseitiger Lagerung zweier Schichtensysteme dürfte einen Anhalt zu der Untersuchung im einzelnen Falle zu geben geeignet sein.

1) Der einfachste Fall ist die fortgesetzte gleichförmige Auflagerung. Wenn Sedimente mit nahezu parallelen Schichtflächen übereinander gelagert sind, und die eingeschlossenen Organismen eine zeitliche Unterbrechung nicht erweisen lassen, so ist es klar, dass ein ununterbrochener Absatz im Meere oder in einem Süsswasserbecken stattgefunden hat. Der Beobachter hat dann, abgesehen von der Untersuchung der Lagerungsformen, nur die Aufgabe, aus dem wechselnden Gesteinscharakter die verschiedenen Bedingungen zu ergründen, unter denen die Ablagerung sich vollzog. Der Niederschlag eines mächtigen Schichtensystems ist das Produkt sehr langer Zeiträume, in welchen die Verhältnisse der Meerestiefe, der Entfernung vom Lande u. s. w. vielfach gewechselt haben können. Inwiefern diese Wechsel sich in der Verschiedenheit des Gesteines (Konglomerate, Sandsteine, thonige Gesteine, Kalksteine) zu erkennen geben, ist aus dem oben über die Ablagerungen am Meeresboden Gesagten (§ 189) zu ersehen. Der Charakter der eingeschlossenen Tiere und Pflanzen gestattet die Schlussfolgerungen bestimmter zu gestalten.

2) Eine seltenere, aber wohl zu beachtende Erscheinung ist die unterbrochene gleichförmige Auflagerung. Es giebt nämlich Fälle, wo mächtige Schichtensysteme ganz

gleichförmig übereinander lagern, die Versteinerungen aber eine Lücke in den Absätzen erkennen lassen. So werden in grossen Teilen des nördlichen China die Schichten der kambrischen Epoche unmittelbar und gleichförmig von Kalksteinen überlagert, welche die Fauna des Kohlenkalkes führen, sodass Silur und Devon hier vollkommen fehlen. Dabei ist in Betracht zu ziehen, dass die den Kohlenkalk zunächst unterteufenden Schichten auf eine Erstreckung von vielen hundert Kilometern einen durchaus gleichbleibenden, zugleich sehr eigentümlichen Charakter haben. Man hat analoge Fälle früher durch die Annahme erklärt, dass die Schichten der ältern Epoche während der Zeit, aus welcher Ablagerungen nicht vorhanden sind, Festland gebildet hätten. Wäre dies richtig, so müssten dieselben durch die Agentien des Festlandes erodiert und die Sedimente der nächsten Meeresbedeckung auf unebener oder abradierter, jedenfalls örtlich verschiedenartig gestalteter Unterlage abgesetzt worden sein. Wo dies, wie in China, nicht der Fall ist, ist nur der eine Schluss gerechtfertigt, dass die Oberfläche der kambrischen Schichten während der Epochen des Silur und Devon Tiefseeboden gewesen ist, auf welchem nur ganz unbedeutende gleichförmige Niederschläge stattfanden, und dass sie erst in der Karbonzeit wieder der Oberfläche des Meeres nahe genug lagen, um neue und zwar kalkige Niederschläge aufzunehmen. Verhältnisse dieser Art dürften sich vielfach nachweisen lassen.

3) Man beobachtet zuweilen in sehr kleinem wie in sehr grossem Massstabe den Fall, dass ein schwach geneigtes Schichtensystem, dessen Oberfläche keine Spuren von Bearbeitung durch festländische Agentien zeigt, durch ein horizontales überlagert wird. In anderen Fällen ist das erstere wellig oder faltig gebogen oder verworfen und das zweite ohne Beteiligung an solchen Störungen aufgelagert, ohne dass jedoch die Oberfläche des erstern eine festländische Denudation oder Abrasionswirkungen erkennen lässt. Wo dies vorkommt, ist es klar, dass das ältere System tektonische Umgestaltungen in der Lage seiner Schichten nach der Ablagerung von diesen und vor derjenigen des zweiten Systems erfahren hat, ohne dass die Meeresbedeckung unterbrochen worden ist. Da indes solche Umgestaltungen sich in der Regel sehr langsam vollziehen, so findet man, falls die Aufschlüsse deutlich sind, wahrscheinlich weit häufiger (wie z. B. in den Trias-Lias-Ablagerungen des Roten Beckens in der chinesischen Provinz Sz'tschwan) einen

allmählichen Uebergang von den stärker gestörten durch weniger bewegte bis in ungestörte Schichten.

4) Eine vierte Form ist die Transgression auf Abrasionsflächen. Sehr häufig findet man ein Schichtensystem auf den ebenflächig abgeschnittenen Schichtenköpfen eines oder mehrerer anderer Schichtensysteme aufgelagert. Die letzteren können Stellungen von sehr flacher bis zu der steilsten Neigung haben. Zu dem Begriffe der transgredierenden oder übergreifenden Lagerung genügt es, dass (umgekehrt wie bei dem ersten der unter 3 angeführten Fälle) die Schichten der ältern Formation gegen die Unterfläche der auflagernden enden, dass sie also durch eine Kraft von solcher Art, wie sie auf dem Boden des Meeres nicht besteht, abgeschnitten sind. In jedem solchen Falle, auch wenn das ältere System noch so flach lagert, ist dieses Festland gewesen und erst durch die Abrasionswelle (§ 161) zur Unterlage des jüngern hergerichtet worden. Dies

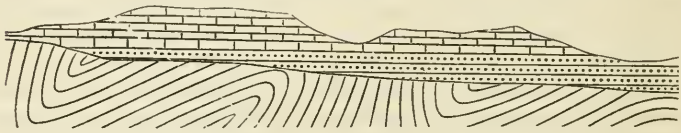

Fig. 110.

ist wohl zu beachten, um die Geschichte manches Erdraumes mit flacher Schichtenlagerung, wie z. B. der russischen Tafel, zu verstehen. Ruhen hingegen die transgredierenden Schichten auf den Köpfen steiler Schichten, so wird die Trennung der Bildungsepochen durch einen langen Zeitraum, die Aufrichtung und Faltung der älteren Schichten, die Abschleifung durch Abrasion vollkommen deutlich. Die durch die letztere aufgearbeiteten Zerstörungsprodukte gaben das Material zu den transgredierenden Gebilden. Daher bestehen diese in der Regel zu unterst aus klastischen Gesteinen, unter denen sehr grobe Konglomerate häufig vorkommen. Doch finden sich auch Kalksteine zuweilen als unterstes Glied. Nach früheren Erörterungen muss alsdann eine Fortführung der klastischen Zerstörungsprodukte angenommen werden. Fig. 110 stellt ein einfaches Beispiel der Transgression dar. Stellt man sich die Abrasionsfläche in Fig. 75 (S. 351) mit Sedimenten bedeckt vor, so hat man ein Beispiel wiederholter Transgression.

Die hohe geologische Bedeutung der Transgression ist gleichwertig mit derjenigen der Abrasion. Beide erstrecken sich über weite Kontinentalflächen, beide haben sich in mancher Gegend wiederholt ereignet. Die ausgedehnten Transgressionen bezeichnen die wichtigsten Hauptabschnitte in der Geschichte der Erde. Daher ist ihr Nachweis an jeder einzelnen Stelle nicht nur von hohem Belang, um diese selbst zu verstehen, sondern auch von Bedeutung für die vergleichende genetische Betrachtung grösserer Erdräume. Wo transgredierende Schichten auf einer Abrasionsfläche horizontal lagern und eine Bedeckung durch andere Meeressedimente nicht tragen, da markiert ihre Ablagerung den letzten abradierend vordringenden Einbruch des Meeres und die letzte grosse Phase in der Entwicklungsgeschichte der betreffenden Gegend. Unter ihnen liegt die ganze vergangene Geschichte des Erdraumes verborgen.

Da die Transgression auch über Tafelländer hinübergreift und die Abrasion hier zuweilen nur geringe Wirkung ausüben kann, so ist es nicht ausgeschlossen, dass transgredierende Schichten streckenweise auf eine Unterlage, welche Festland war, gleichförmig aufgelagert sind.

5) Die Transgression ohne Abrasion oder die Ingression. Es ist an anderen Stellen (z. B. § 166) dargestellt worden, wie unter besonderen, nicht selten vorkommenden Umständen das Meer in die Unebenheiten des Festlandes eindringen kann, ohne durch Abrasion die Oberfläche desselben umzugestalten und eine besondere Fläche als Fussgestell für die Ablagerung der Zerstörungsprodukte und anderer Sedimente zu schaffen. Unter diesen Bedingungen befinden sich die kleinen Becken mit geringer Entwicklung der Brandungswelle und oft zugleich mit Gezeiten von verschwindender Grösse, ferner diejenigen Stellen, wo Korallenwälle und Blockanhäufungen sich schützend vor die Küste lagern. Dringt das brandende Meer bei positiver Strandverschiebung vor, so wird es nicht selten durch Pforten, wie sie sich besonders bei Längsküsten, die von mehreren parallelen Gebirgszügen begleitet werden, darbieten, in grössere Inlandbecken dringen und diese mit einem verhältnismässig ruhigen Wasserspiegel ausfüllen. Man kann dieses Eindringen als Ingression bezeichnen. Während die Brandungswelle in grosser Erstreckung Sedimente von gleichartigem Charakter schafft, ist hier Individualisierung im kleinen die Regel. Das Meer erfüllt die durch das

fliessende Wasser und andere Agentien gebildeten Hohlformen des Festlandes, und diese mit allen Unebenheiten dienen als Basis für die Ablagerungen, welche aus örtlich verschiedenem Materiale gebildet werden. In Bezug auf die Lagerung der Gesteine sind die neuen Gebilde transgredierend, aber ihre Unterlage kann eine wechselvolle Gestalt besitzen. Ströme setzen klastisches Material in den meerbedeckten Furchen ab, die sie sich meist selbst gegraben hatten; aber den offenen Teilen derselben Becken fehlen die Stoffe für mächtigere Ablagerungen weitverbreiteter feinerdiger Sedimente, da das Meer sie sich ohne Brandungswelle nicht zu schaffen und ohne Strömungen nicht weit zu transportieren vermag. Oertliche Trümmerschichten und verschiedenartige Zusammenschwemmungen werden an vereinzelten Stellen der Küste vorkommen. Sind Vulkane vorhanden, so werden sie die örtliche Differenzierung erhöhen. Ein anderes Moment ingredierender Ablagerung wird dadurch hervorgerufen, dass derartige überflutete Gründe für eine reiche und zugleich vielfachem örtlichen Wechsel unterliegende Entfaltung von organischem Leben geeignet sind. Die Schichten enthalten oft kohlige Beimengungen und Kohlenflöze. Dazu kommen fossilienreiche kalkige Ablagerungen, welche in der mannigfaltigen Zusammensetzung ihrer Fauna zuweilen an die belebtesten Gründe der gegenwärtigen Küstenmeere erinnern.

Den Haupttypus derartig eingelagerter, fremdartiger und den verschiedensten Bodenformen aufliegender Sedimente bieten die durch die örtliche Verschiedenheit ihres Charakters ausgezeichneten Gosauschichten der Nordalpen. Wären die Umgebungen des Roten Meeres von reichlicheren Niederschlägen benetzt, so würde dieses ein noch besseres Beispiel von der Mannigfaltigkeit der Ingressionsgebilde geben, als es thatsächlich gewährt. In kleinerm Massstabe ist dies bei dem Adriatischen, dem Aegäischen, dem Marmarameere oder dem Persischen Meere der Fall. Bei dem ersten Vordringen des Meeres über die Unebenheiten des Festlandes dürfte zuweilen eine Art von selektiver Ablagerung stattfinden, indem z. B. riffbauende Korallen, wenn ihnen nicht andere kalkabsondernde Tiere oder Pflanzen ein Fussgestell gebaut haben, sich wahrscheinlich an gewissen für sie günstigen Stellen, und zwar vorwiegend auf Kalkstein, ansiedeln und nebst den zahlreichen auf ihnen lebenden Schaltieren Felsen aufbauen werden, während die

Gründe mit sandigem oder thonigem Boden keine so intensive Erhöhung erfahren und mit Sedimenten anderer Art allmählich überdeckt werden dürften. Manche scheinbare Anomalien, welche nicht bloss die Gosaugebilde betreffen, scheinen dadurch wenigstens teilweise eine Erklärung zu finden.

6) Heteropische Ablagerungen. Die Vergleichung der beiden zuletzt genannten Kategorien veranschaulicht die Bedeutung und den Begriff der „Facies", welcher sich ebenso auf den Gesteinscharakter der Niederschläge, wie auf Fauna und Flora anwenden lässt. Gleichzeitige Ablagerungen von verschiedener Facies sind von v. Mojsisovics als heteropisch bezeichnet worden. Dass Schichtgesteine von ganz abweichendem petrographischen Charakter und mit nicht minder verschiedenen organischen Resten zur selben Zeit entstanden sein können, wurde zuerst für solche festgestellt, welche an weit voneinander entfernten Erdräumen in grossem Massstabe auftreten. Insbesondere wurde es erwiesen, dass Küstenablagerungen einer Erdstelle den Tiefseebildungen einer andern entsprechen. So wurde der Synchronismus des aus klastischen Gebilden bestehenden Kulm und des Kohlenkalkes sichergestellt, und eine noch viel weiter gehende Verschiedenheit stellte sich bei der Vergleichung der Schichten der obern Trias in den Alpen und den vorliegenden Gebieten Mitteleuropas heraus. Durch Arbeiten in Südtirol wurde es klar, dass aneinander dicht benachbarten Orten ausserordentlich grosse Unterschiede im Charakter gleichzeitig gebildeter Sedimente obwalten können; denn während dort in der Epoche der obern Trias Dolomitriffe aufwuchsen, welche alle Zeichen von Korallenbauten tragen, lagerten sich daneben vulkanische Tuffe, bald reiner, bald mit Korallenmaterial vermengt, ab. Bieten sich auch die Erscheinungen selten in so grossem Massstabe und so scharfer Trennung dar, so ist doch jetzt der heteropische Charakter an benachbarten Erdstellen in zahlreichen Fällen, besonders bei ingredierender Ablagerung, bekannt. Es ist von Interesse, diese Beobachtungen, die allerdings einer sichern Feststellung der Verhältnisse bedürfen, zu vermehren.

Auch auf dem Boden der offenen Oceane können heteropische Ablagerungen dicht aneinander grenzen. Es genüge, betreffs jetziger Vorgänge an die Driftablagerungen von nordischen Eisbergen bei deren Eintritt in den Golfstrom zu erinnern; sie müssen ganz verschieden von denjenigen Sedimenten sein, welche

sich ausserhalb des Weges der Eisberge auf dem Boden der warmen Strömung niederschlagen.

7) Es mag endlich hier noch ein Lagerungsverhältnis Erwähnung finden, welches als parallele Anlagerung bezeichnet werden kann. Sie tritt dort ein, wo Tafelland frei ausstreicht, und an dem Fusse des dadurch gebildeten Abhanges andere Schichten von jüngerm Alter (s. Fig. 111) lagern. Man wird es dann in vielen Fällen mit einer Abrasion zu thun haben, welche das Tafelland in einem weit unter seiner Oberfläche liegenden Niveau hinwegnahm, den Absatz transgredierender Schichten veranlasste und in einem gewissen Stadium ihre Wirksamkeit abschloss. Dies scheint z. B. den Verhältnissen der Umgebungen des Ustiurt zu entsprechen. Noch häufiger wird Ingression das gleiche Verhältnis veranlassen.

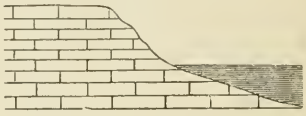

Fig. 111.

C. Die Zerklüftung der Gesteine.

§ 262. Es ist in vorhergehenden Abschnitten bereits mehrfach von den Ablösungsflächen die Rede gewesen, von welchen alle Gesteine, mit wenigen Ausnahmen, mehr oder weniger durchsetzt sind. Es wurde derjenigen, welche in den Oberflächenteilen den Zersetzungsvorgängen die Wege bahnen (§ 42) oder durch Frost geöffnet (§ 41) und dadurch besonders deutlich erkennbar werden, gedacht, und der Einfluss erwähnt, welchen sie auf die Wege des erodierenden Wassers haben (§ 82). Beispiele ergaben insbesondere der Granit (§ 237), der Porphyr (§ 238), der Quadersandstein und die Schiefergesteine. Sie sind an jedem Steinbruche und in jedem durch festes Gestein getriebenen Eisenbahneinschnitte sichtbar, und der Bergbau erschliesst sie in allen Tiefen, zu denen er eindringt. Kommen zwei verschiedene Gesteine nebeneinander vor, so gewahrt man, dass die Klüfte nach Anordnung und Gestalt in beiden verschieden sind. Sie setzen daher nicht von einem Gesteine in das andere fort. Beobachtet man die Schichtgesteine genauer, so findet man oft feinere Fugen, welche jeder Schicht eigentümlich sind und nicht von einer in die andere übergehen. Dagegen zeigen sich grössere Klüfte, welche Systeme verschiedener Schichten und auch andere eingeschaltete Gesteine durchsetzen. Das sind die im vorhergehenden (§ 256) betrachteten Brüche, denen

entlang nicht nur kleine, sondern auch sehr grosse und ausgedehnte Verwerfungen vorkommen. Auch die Klüfte sind häufig mit kleinen Verschiebungen, Gleitungen und Rutschungen verbunden, was nicht nur an der gegenseitigen Stellung der einzelnen von Klüften eingeschlossenen Gesteinskörper, sondern auch oft an der Anwesenheit glänzender Rutschflächen erkennbar ist. Dieselben zeigen die Spuren des Gleitens unter starkem Drucke, sind mit den Produkten der Abreibung bekleidet und haben eine Streifung, welche die Richtung der Bewegung anzeigt. Sie sind nur gewissen Gesteinen eigen. Die Gesteinsklüfte sind zum Teile klaffend und sichtbar und dann häufig mit thonigen, durch die Wassercirkulation mechanisch herbeigeführten Mineralteilen oder mit metamorphisiertem, durch Gleitung zerriebenem Gesteinsmateriale oder mit chemisch niedergeschlagenen Mineralien (Quarz, Kalkspat, Gips, Eisenkies, Oxyde von Eisen und Mangan) ausgefüllt; zum Teile sind sie latent, indem das Auge auf der Bruchfläche keine Spur von ihnen wahrnimmt, ein Schlag mit dem Hammer aber das Gestein nach ihnen zerspringen lässt. Diese kommen besonders bei sehr feinkörnigen Schiefern und bei Eruptivgesteinen vor. Bei dem Formatisieren von Handstücken lernt der Geolog sie oft in unangenehmer Weise kennen.

Verschiedene Ursachen können der Gesteinszerklüftung zu Grunde liegen. Sie lassen sich in drei Gruppen teilen, nämlich: 1) solche, welche allein in einer Aenderung der physikalischen Eigenschaften des Gesteines beruhen; 2) solche, welche aus tektonischen Bewegungen unmittelbar hervorgehen; 3) solche, welche ihre Veranlassung in Druck und Pressung haben.

1) Unter denjenigen Ursachen, welche in der *Aenderung der physikalischen Eigenschaften* beruhen, ist zunächst § 263.

a. die Kontraktion hervorzuheben, welche stark erhitzte Gesteine bei der Erkaltung erleiden. Sie hat eine Absonderung zur Folge, welche zuweilen in sehr regelmässigen Formen geschieht, wie dies bei den Eruptivgesteinen (§ 237) und den Kontakterscheinungen (§ 228) erörtert wurde, und ist auf diese Fälle beschränkt. Es sollte darauf geachtet werden, ob die Kontraktionszerklüftung, je nachdem das Gestein auf freier Oberfläche oder unter Wasserbedeckung oder in Gangspalten oder in grösseren und unregelmässigen intrusiven Massen erstarrt ist, nur dem Grade nach oder auch mit Rücksicht auf Verlauf und Gestalt der Klüfte verschieden ist;

b. die Aufblähung des Gesteines durch chemische Prozesse verursacht die Entstehung offener Risse und Spalten;

c. eine Zerklüftung kann durch Wechsel von Hitze und Kälte hervorgebracht werden (§ 39); es scheint, dass das Zerspringen nicht allein nach latenten Klüften geschieht, sondern dass wirklich ganz neue Kluftflächen durch die Spannung gebildet werden;

d. wasserhaltige Erden und Gesteine werden durch Austrocknen zerklüftet. Während sich in schlammigem Boden an freier Oberfläche offene Risse und Sprünge bilden, wird wahrscheinlich schon in geringer Tiefe die Erscheinungsform davon abweichend sein. Es ist kaum bekannt, in welcher Art sie sich äussert, wenn Meeresboden in Tafelland verwandelt wird und das darin enthaltene Wasser abfliesst. Die Kontraktionsformen sollten in jeder Schicht einer individualisierten Tendenz folgen; aber Kohäsion und Druck werden die Uebertragung derselben von einer Schicht in die zunächst darüber und darunter lagernde zur Folge haben. Vermutlich wird daraus eine Gleichartigkeit und Regelmässigkeit der Anordnung mindestens durch jedes System gleichartiger Schichten resultieren. Es lässt sich jedoch gegenwärtig nicht entscheiden, welcher Anteil an den Ablösungsklüften in plastischen Sedimentgesteinen der Kontraktion zukommt. Vielleicht wird den tektonischen Einflüssen eine allzu grosse Bedeutung beigemessen. Zu bemerken ist, dass die weisse Schreibkreide in den Oberflächenteilen, wo sie wiederholter Durchfeuchtung und Austrocknung ausgesetzt ist, von Kontraktionsklüften durchsetzt wird, in der Tiefe aber sie nicht erkennen lässt. Erdige Massen scheinen sich im allgemeinen ähnlich zu verhalten.

§ 264. 2) Die bei weitem überwiegende Rolle bei der Bildung der Kluftflächen haben die *tektonischen Bewegungen*. Die Beobachtungen über die Lagerung der Schichtgesteine (§ 255 ff.) führen zu dem Ergebnisse, dass die letzteren, um in die Lage zu gelangen, in welcher wir sie gegenwärtig als Glieder des Gebirgsbaues sehen, Bewegungen unterworfen gewesen sind. Zum Teile waren es Bewegungen innerhalb der Masse der Erdrinde, welche die äusseren Schichten unmittelbar mit ergriffen haben, zum Teile haben die letzteren besondere Bewegungen erfahren, welche entweder durch die ersteren unmittelbar induziert wurden oder auch, von ihnen ganz unabhängig, auf kleineren örtlichen Gestaltungsvorgängen beruhen. Wird ein Gesteinskörper nicht in seiner ganzen Masse völlig gleichmässig und gleichsinnig verschoben, sondern finden örtliche Differenzen, wenn auch noch

so gering, in dem Masse der Bewegung statt, so werden Spannungen hervorgerufen. Jedes Gestein ist vermöge seiner Elastizität im stande, diesen einen gewissen Widerstand entgegenzusetzen, aber jedes hat auch eine Elastizitätsgrenze, die gemessen und in Zahlen ausgedrückt werden kann und bei verschiedenen Gesteinen durch verschiedene, zum Teile sehr weit voneinander abweichende Grössen dargestellt wird. Wird dieselbe durch den Betrag der Spannung überschritten, so erfolgt an der Stelle des geringsten Widerstandes eine Lösung der Kohäsion durch Bildung einer Kluft oder Spalte, die nicht notwendig klaffend und äusserlich sichtbar ist, sondern den Zusammenhang der Teile in einer latent bleibenden Weise lösen kann. Es tritt jedoch hierzu noch ein anderer wesentlicher Faktor, welcher die Spannung aufzuheben vermag, sodass Spaltenbildung bei dem gegebenen Betrage derselben nicht erfolgt. Dies ist die Plastizität der Gesteine. Sie besteht in einer Verschiebbarkeit der Teilchen und ist ebenfalls bei einzelnen Gesteinen sehr verschieden. Vermöge derselben accommodiert sich das Gestein den Spannungsdifferenzen und kommt in der neuen Lage (ganz wie eine an ihren Enden aufliegende, in der Mitte sich allmählich abwärts krümmende Stange Siegellack) wieder in Gleichgewichtszustand, vorausgesetzt, dass die Bewegung langsam genug geschieht, um in keinem Momente ein Ueberschreiten der Elastizitätsgrenze durch die Spannung zu gestatten. Das Mass der fortschreitenden Bewegung, bei welcher die Biegung ohne Bruch möglich ist, ist daher bei jedem Gesteine ein anderes; es ist sehr gering bei Quarz und Kalkstein und wird mit dem Prozentsatze des Gehaltes an thonigen Bestandteilen, sowie durch die Beimengung von Glimmerblättchen erhöht. Indes hat auch die Biegung ohne Bruch bei unbelastetem Gesteine, mag die Bewegung noch so langsam sein, in den meisten Fällen eine Grenze. Wird ein aus wechselnden Lagen von Kalkstein und thonigen Sandsteinen bestehendes Schichtensystem einer allmählichen Biegung unterworfen, so kann es daher geschehen, dass die Sandsteinschichten vollkommen gebogen, diejenigen des Kalksteines aber vielfach gebrochen werden. Es ist dabei gleichgültig, ob die Biegung durch Wölbung nach oben oder durch den Zug der Schwere nach unten wie bei der Flexur oder durch Torsion geschieht. Bei der letztern scheint sich die Anpassung der innern Anordnung an die neue Gestalt am schwierigsten zu vollziehen.

Elastizität und Plastizität der Gesteine ändern sich mit dem Drucke, welchem die letzteren während der Einwirkung der deformierenden Kraft ausgesetzt sind. Nach der Annahme von Heim, welche nachträglich durch die wichtigen Experimente von Spring gestützt worden ist, werden unter hohem Gebirgsdrucke, in grosser Tiefe unter der Erdoberfläche sehr starre Gesteine so vollkommen plastisch, dass sie wie Schichten von Thon gebogen werden können. Ein Stadium des Ueberganges zu diesem Zustande scheint durch diejenigen Fälle erwiesen zu werden, wo Gesteine, welche, wenn an der Erdoberfläche einer starken Biegung unterworfen, in ihrer ganzen Masse brechen würden, eine durch das Mikroskop in Dünnschliffen erkennbare tausendfältige innere Zerbrechung und eine Ausheilung aller diminutiven Brüche durch Mineralsubstanz zeigen. In solchen Fällen scheint die Belastung nicht hinreichend gewesen zu sein, um den Zustand vollkommener Plastizität hervorzubringen.

Die Einwirkung von Vorgängen äusserer Bewegung auf Kohäsionsänderungen und innere Struktur der Gesteine kann sich also zwischen weiten Grenzen bewegen. Klaffender Bruch, Zerklüftung, Biegung mit diminutiver innerer Zerreissung und Wiederverkittung und bruchlose Biegung sind als typische, durch Uebergänge verbundene Formen dieser Einwirkung zu bezeichnen. Die Natur des Gesteines, seine Elastizitätsgrenze, der Grad seiner Plastizität, die Art des Ansatzes der bewegenden Kraft, das Mass derselben, ihr langsameres oder schnelleres Wirken, der Verband durch einschliessende Schichten, endlich der Druck durch Belastung oder Pressung, dazu wohl auch der Grad des Wassergehaltes — dies sind die wesentlichen Faktoren, von denen die Aeusserungsform der mechanischen Einwirkungen abhängt.

§ 265. 3) Als eine dritte Klasse von Ursachen der Kluftbildung bezeichneten wir solche, welche ihre Veranlassung in *Druck und Pressung* haben. Sie können, wie sich aus Experimenten ergiebt, ohne Beteiligung äusserer Bewegung wirksam sein. Da indes mit den gebirgsbildenden Bewegungen Pressungen in stärkstem Massstabe verbunden und die Richtungen derselben mancherlei Aenderungen unterworfen sind, so stellen sich Zerklüftungen durch Druck auch sehr häufig mittelbar als eine Folge von ihnen ein. Der Effekt der Pressung ist eine Absonderung der Gesteine in Platten, welche rechtwinklig zu der Druckrichtung stehen. Die Erscheinung ist als transversale

Schieferung bekannt. Die Klüfte sind latent und manifestieren sich wesentlich in einer mehr oder weniger vollkommenen Spaltbarkeit (daher der englische Name *cleavage* bezeichnender ist). Sie können mit der Schichtung zusammenfallen, sind aber häufiger unter verschiedenen Winkeln gegen dieselbe gerichtet. Ist das Gestein sehr gleichartig, so kann die Schichtung ganz zurücktreten; aber gewöhnlich ist sie an verschiedenen Färbungen und an petrographischen Abänderungen der einzelnen ursprünglichen Lagen erkennbar. Die Schieferung setzt manchmal ebenflächig durch Faltungen und Schichtenkrümmungen hindurch. Zuweilen findet sie nur nach einer Ebene statt; öfter wird eine Ebene vollkommener Spaltbarkeit von anderen durchsetzt, wo diese weniger ausgezeichnet ist. Sie können nacheinander, vielleicht auch gleichzeitig hervorgebracht sein. Das Gestein zerfällt dann durch Erschütterung, z. B. mittelst eines Hammerschlages, in polyedrische, aber ebenflächig begrenzte, zuweilen griffelförmige Stücke. Man findet die transversale (oder „falsche“) Schieferung wesentlich in stark gefalteten Schichtgebirgen, daher am meisten in paläozoischen Formationen, aber auch vielfach in jüngeren, z. B. in den eocänen Schichten von Glarus. Der Beobachter hat sich davor zu hüten, sie mit der Schichtung zu verwechseln. In diesen Irrtum verfällt man um so leichter, als die Streichrichtung der Schieferung in der Regel mit derjenigen der Schichtenbiegungen zusammenfällt. Häufig findet man die Gesteine, welche diese Schieferungserscheinung darbieten, von Brüchen und Verwerfungen durchsetzt, welche meist einen ebenflächigen Verlauf haben. Sie sind manchmal mit Infiltrationsmineralien ausgefüllt.

Als den die transversale Schieferung veranlassenden innern Vorgang hat man durch Beobachtung und Experiment die Thatsache erkannt, dass die Mineralteilchen, vor allem die Glimmerblättchen, sich rechtwinklig zur Druckrichtung stellen. Es ist damit oft eine Streckung verbunden, die an den zerbrochenen und in die Länge gedehnten Versteinerungen deutlich wird. Die Fragmente derselben sind linear angeordnet und zuweilen staffelartig gegeneinander verschoben.

Beobachtungen über die mechanische Umgestaltung der Struktur der Gesteine.

§ 266. Die klassischen, durch Beobachtungen in der Natur gestützten experimentellen Untersuchungen von Daubrée haben viel zum

Verständnis des Phänomens der Bildung von Bruchspalten und Klüften in den Gesteinen beigetragen. Abgesehen davon hat sich die Forschung zwar in hohem Grade den Verwerfungen und den mit Mineral erfüllten Gangspalten, aber in verhältnismässig geringem Maasse der Klüftung zugewendet. Es kommt besonders darauf an, den Gesamtbereich der mit letzterer verbundenen Erscheinungen in ihrem gegenseitigen Zusammenhange und in ihren Beziehungen zum Gebirgsbaue zu erfassen. Sie helfen dann zum Verständnisse der tektonischen Vorgänge und tragen viel zur Erklärung der Oberflächenformen bei. Indessen sind Beobachtungen hierüber nur dann gut verwertbar, wenn sie mit grosser Sorgsamkeit ausgeführt werden. Dazu aber fehlt es dem Reisenden häufig nicht nur an Zeit, sondern auch an Gelegenheit. Er sollte sich damit begnügen, Richtung und Einfallen der grösseren Bruchflächen und Verwerfungen zu bestimmen. Auch wo transversale Schieferung über grössere Gebirgsteile verbreitet ist, trägt ihre Festsetzung zur klaren Auffassung allgemeinerer Verhältnisse bei. Aber von geringem Nutzen sind vereinzelte Beobachtungen über die untergeordneten Erscheinungen der Klüftung. Will man sie eingehender ausführen, so muss man die Gelegenheiten dazu mühsam aufsuchen. Deutliche Aufschlüsse sind in der Regel spärlich vorhanden. Am häufigsten begegnet man ihnen in den kahlen Regionen der Hochgebirge und an allen Stellen, wo Spaltenfrost das Gestein zertrümmert, ferner in den Gebirgen der Wüste, in beschränkterer Weise an den Wänden von Querthälern und Wasserrissen. Reichlicher sind sie dort vorhanden, wo viel menschliche Arbeit im Gesteine durch Bergbau, Strassenbau und Steinbruchsabbau frische Anbrüche an zahlreichen Stellen freilegt. Wo dies der Fall ist, sollte man nicht unterlassen, das Streichen und Fallen der Kluftflächen und die Winkel, unter denen sie sich schneiden, häufig zu bestimmen. Anfangs scheint dies kleinlich und nicht Erfolg versprechend. Aber aus längeren Beobachtungsreihen, bei denen man nicht unterlassen darf, die Natur des Gesteines genau zu bezeichnen, werden sich bald gewisse Gesetzmässigkeiten ergeben. Ist das Gebirge gefaltet oder gebrochen, so wird sich der Zusammenhang mit tektonischen Vorgängen ergründen lassen. Es ist ferner auf die mineralische Ausfüllung der kleinsten wie der grössten Gänge zu achten. Zuweilen sind Gänge derselben Richtung mit dem gleichen Minerale diejenigen von anderer Richtung mit anderm Minerale erfüllt. Vielleicht ist auch ein

Zusammenhang dieser Gänge mit Injektionsgängen von Eruptivgestein' (§ 234) oder mit dem Vorkommen des letztern in grösseren Ausbruchsmassen zu erkennen.

Die Untersuchungen von Daubrée haben die Wichtigkeit der Torsion als einer Ursache der Spaltung und Klüftung des Gesteines erwiesen. Schichtgesteine, welche für das Auge ebenflächig ausgebreitet erscheinen, sind infolge der grossen Spannung, welche durch eine geringe Torsionsbewegung hervorgerufen wurde, von zwei und mehr Systemen paralleler Brüche und Klüfte durchsetzt. Das Experiment beweist, dass dieselben gleichzeitig entstehen können. Die Brüche der Hauptrichtung kreuzen sich mit denen einer zweiten in solcher Weise, dass diese zum Teile von einer Seite nur bis zu einem Hauptbruche heranreichen, ohne jenseits fortzusetzen, oder dass die jenseitige Fortsetzung in einigem Querabstande geschieht, sodass man nach früheren Anschauungen einen verworfenen Bruch zu sehen glauben würde. Beobachtungen in der Natur sollten das Experiment bestätigen; doch ist der Beweis durch sie schwer zu führen, weil es sich meist um die Frage der Verschiebung von Schichtgesteinen in der Richtung der Schichtflächen handelt, wo der Charakter des Gesteines sich nicht ändert. Die Bedeutung der Torsion für die Erklärung der Natur der Tafelländer liegt darin, dass diese Kraft hier viel häufiger das Hauptprinzip der Bruchbildung, der Differenzierungen in der tektonischen Gestaltung und damit auch der Erosionsrichtungen bilden wird als dort, wo die Schichtgesteine gefaltet sind. In diesem Falle tritt zwar die Torsion bei jedem einzelnen Faltungsflügel unzweifelhaft (im Verhältnisse zur Ausdehnung der in Betracht kommenden Flächen) viel intensiver und mit häufiger wiederholten Ansätzen gestaltend ein, aber sie ist doch dann die Kraft vom zweiten Range und ordnet sich der faltenden Bewegung unter; daher wird auch die letztere primär, die Torsion nur sekundär auf die Erosionsvorgänge einwirken.

Da theoretisch angenommen werden darf, dass grosse feste Schollen der Erdrinde sich hinsichtlich ihres Elastizitätsverhältnisses im grossen Ganzen ähnlich verhalten wie flach ausgebreitetes Tafelland, so dürften die Formen der Spaltung und Zerklüftung des letztern geeignet sein, einen Anhalt für die Erklärung der Spaltenbildung in ausgedehnten Teilen der Erdrinde zu geben. Auch hier ist die Torsion wahrscheinlich ein wesentlicher Faktor. Durch sie allein dürfte beispielsweise die radiale Anordnung grosser, mit gleichsinniger Absenkung verbundener Brüche, wie

sie sich im kristallinischen Gebirge der Provinz Schantung in China findet, erklärt werden können. Es wäre daher von Interesse, ähnliche Erscheinungen in Tafelländern nachzuweisen und dort dem Ursprunge und der Wirkungsweise der bewegenden Kraft nachzugehen.

Ausser durch Brüche erleiden die Schichtgesteine noch manche andere innere Umgestaltung infolge äusserer Bewegung. Dahin gehört die Auswalzung und Streckung einzelner Teile im Gegensatze zur Stauung und Verdickung anderer. Es wurde bereits angeführt, dass transversale Schieferung mit Streckung verbunden ist. Beide Erscheinungen aber finden sich vereinigt bei der Faltung, welche überhaupt die grösste Mannigfaltigkeit innerer Transformation darbietet und reichen Stoff zum Studium gewährt. Die feineren Strukturverhältnisse sind besonders durch Heim und Johannes Lehmann studiert worden. Sie geben sich bei den kleinen Fältelungen der kristallinischen Schiefer ebenso wie bei den grossen Schichtungsfalten, besonders den liegenden, zu erkennen. Die Mächtigkeit der Schichten ist am grössten an der Gewölbebiegung, am geringsten an den Gewölbeschenkeln. Hier sind häufig die Versteinerungen in die Länge gestreckt, zuweilen auf den vierfachen, selbst auf den zwölffachen Betrag des ursprünglichen Masses. Der untere Gewölbeschenkel einer liegenden Falte kann bis zu völliger Zerreissung gestreckt sein. Ein Gegensatz anderer Art, der für die Frage der Thalbildung wichtig wird, besteht zwischen der Aussenseite und der Innenseite eines Gewölbes. An der letzteren werden die Schichten auf einen kleinen Raum zusammengepresst; sie werden dabei gestaut und zerdrückt, kräftig zusammengefaltet und übereinander verschoben; daher entsteht dort viel Spaltenbildung im kleinen, die oft durch dichtes Geäder von Kalkspat oder Quarz kenntlich wird. Auf der Aussenseite hingegen waltet ein starker tangentialer Zug. Er kann die Kohäsion überwinden und zur Bildung radialer klaffender Spalten führen, welche in der Richtung der Falte streichen. Zwischen Aussen- und Innenseite ist eine neutrale Schicht. Eine grössere Stauung und Verdichtung findet im Innern der Muldenbiegungen statt. Wird ein System gefalteter Schichtgesteine abradiert, so wird daher das Gestein in den Schichtenwölbungen gelockert, in den Mulden verdichtet sein. Die ersteren gewähren den zerstörenden Agentien geringern Widerstand als die letzteren. Infolgedessen bilden sich Thäler in den

Antiklinalen; dieselben werden durch Rücken mit synklinaler Schichtenstellung getrennt (§ 80).

Inwieweit metamorphische Vorgänge mit der durch die Bewegungen der Gesteine unter hohem Drucke geleisteten Arbeit zusammenhängen können, wurde an einer andern Stelle (§ 228) erörtert. Sie sind nur das extremste Glied in der Reihe der Aenderungen, welche die gebirgsbildenden Kräfte in der innern Struktur der Gesteine hervorrufen.

Sechzehntes Kapitel.

Die Hauptformen der Bodenplastik.

§ 267. Aufragendes Land und Flachboden — dies sind die beiden wesentlichsten Kontraste in den plastischen Formen der Erdoberfläche, welche in sehr wechselndem Massstabe dem Reisenden überall auf den Festländern entgegentreten. Man kennt sie im kleinen als Berg und Thal, in grösserer Anlage als Gebirge und Flachland, in grösstem Massstabe als Kontinente und Meeresboden. Das Merkmal des aufragenden Landes, sei es ein Berg, ein Gebirge oder ein Gebirgsland, ist die, wenn auch meist ohne Symmetrie und scheinbar regellos, so doch stets gewölbte Gestalt der wechselvollen Fläche, welche über alle hervorragenden oder ausspringenden Teile gelegt wird. Im Gegensatze dazu sind die Flachländer entweder eben oder einseitig geneigt oder muldenförmig eingesenkt. Alle diese Gestalten geben sich am deutlichsten an Profillinien zu erkennen. Da es sich nur um relative Verhältnisse handelt, kommt die Meereshöhe nicht in Betracht, und die Furchen, in denen das Wasser fliesst, sind von untergeordneter Bedeutung, solange man die allgemeinsten Formen der Bodenplastik ins Auge fasst.

Wenn es wiederholt als eine Hauptaufgabe des Reisenden bezeichnet wurde, die Bodenformen morphologisch zu verstehen, so ist die Erforschung des innern Gebirgsbaues nur eine vorbereitende Stufe. Für die Erfassung der äussern Gestalt dürfte es zweckdienlich sein, gewisse Kategorien der Typen der überhaupt vorkommenden Elemente der Plastik auszusondern. Ueberaus mannigfaltig sind die Formen, denen man begegnet oder welche auf Karten dargestellt werden. Ihre systematische Gliederung ist daher schwierig, und es ist noch kaum möglich,

das Problem in einigermassen befriedigender Weise zu lösen, da noch zu wenige Gebirge und Flachländer so bekannt sind, dass sie miteinander verglichen werden können. Mancher dahin gerichtete Versuch wird unternommen werden, ehe es gelingen wird, eine den zu stellenden Anforderungen genügende Einteilung zu finden. An dieser Stelle können nur einige skizzenhafte Umrisse gegeben werden. Vielleicht reichen sie hin, den Reisenden zu veranlassen, durch genaue und zweckentsprechende Beobachtungen neues Material zu sammeln und neue Typen kennen zu lernen.

Um die in Betracht kommenden Gesichtspunkte zu verstehen, muss man sich der Agentien bewusst sein, welche der Bildung verschiedener Bodenformen zu Grunde liegen, und den Effekt kennen, welchen sie einzeln auszuüben im stande sind. Diese Einwirkungen bilden Gegenstände besonderer Beobachtungen. In den vorangegangenen Teilen dieses Buches ist auf sie hingewiesen worden. Es waren diejenigen Kräfte zu unterscheiden, welche ihren Sitz unterhalb der Erdoberfläche, also innerhalb der festen Erdrinde oder in unbekannten Tiefen unter derselben haben, und diejenigen, welche die Oberfläche des Planeten von aussen umgestalten. Unter den Wirkungsäusserungen der erstgenannten Kategorie von Kräften waren hervorzuheben:

1) Die Bildung von Brüchen, denen entlang ein Flügel, meist staffelförmig, um Tausende von Metern herabsinken kann (§ 257); es werden dadurch linear oder zonal angeordnete Niveaudifferenzierungen verursacht. In der Regel ist die steil abfallende Lippe des stehengebliebenen Flügels aufwärts gebogen und ein flacher Abfall nach der entgegengesetzten Seite gerichtet.

2) Das Aufwärtsdringen von schmelzflüssigem Magma durch Bruchspalten. Dasselbe erstarrt in ausgedehnteren Massen in grösseren oder geringeren Tiefen unter der Erdoberfläche (Batholithe und Lakkolithe), oder erfüllt Spaltenräume (Gänge), oder langt an die Oberfläche und wird hier zum Teile in zusammenhängenden Massen angehäuft, zum Teile durch explosive Thätigkeit in Gestalt von Trümmern kegelförmig abgelagert.

3) Die Faltung des Schichtgesteines, die faltige Ueberwallung, die Aufschiebung auf geneigten Bruchflächen und die Ueberschiebung (§§ 259, 260). Dadurch werden zonale Emporwölbungen über das vorher vorhanden gewesene Niveau veranlasst.

Alle diese Vorgänge haben die Tendenz, nach aussen gerichtete Unebenheiten, also unmittelbar Berge und Gebirge oder auch nur grosse ungestaltige Auftreibungen, welche einen grossen Erdraum umfassen können, hervorzubringen.

Die von aussen wirkenden Kräfte sind, mit Ausnahme derjenigen der auf kosmischer Anziehung beruhenden Flutwelle, Umsetzungen der durch die Wärmestrahlen der Sonne erzeugten Kraft. Ihre Wirkungen bestehen in:

1) Abrasion; wir erkannten in dieser Arbeit, welche als eine von den innersten Teilen ausgehende Abtragung der Gebirge bezeichnet werden kann, die grossartigste und wirksamste Vernichtung der Unebenheiten des Bodens.

2) Aufschüttung der durch die Brandungswelle und die Flüsse dem Meere zugeführten festen Stoffe in einer die Küsten in verhältnismässig geringem Abstande begleitenden Zone; ein kleiner Teil feiner Stoffe wird in die centralen Teile der oceanischen Becken geführt. Die Aufschüttung geschieht transgredierend auf der Abrasionsfläche oder, bei Ingression des Meeres, auf verschieden gestaltetem Boden.

3) Denudation, d. h. Abtragung der Gebirge von aussen nach innen, durch die Arbeit der Atmosphärilien, des Spaltenfrostes, des spülenden und fliessenden Wassers und des strömenden Eises. Die Gebirge werden an der Aussenseite umgestaltet. Die Tendenz zum vertikalen Eingraben von Kanälen schafft entweder unmittelbar kühne Formen, oder es wird in einem Falle durch Schuttumhüllung, in einem andern durch Tiefenzersetzung ein ruhender Zustand herbeigeführt, dem dann eine um so grössere Umgestaltung folgen kann.

4) Aufschüttung der Zerstörungsprodukte auf den tieferen Teilen des Festlandes. Fliessendes Wasser schafft geneigte Flächen, ruhiges Wasser weitaus vorwaltend ebene Boden; atmosphärische Aufschüttung bringt gleichmässig beiderlei Formen hervor; das strömende Eis hinterlässt unebenes Schuttland.

Die Kräfte der ersten Art schaffen den rohen Block; diejenigen des Meeres streben seine aufragenden Massen bis zu einem gewissen Niveau herab vollständig fortzunehmen, um die hinweggeführte Masse in horizontaler Schichtung abzulagern; die Kräfte der Atmosphäre und des Festlandes hingegen arbeiten an seiner Ausmeisselung, mit der Tendenz schliesslicher Nivellierung.

Aus diesem Zusammenwirken gehen die verschiedenen auf der Erdoberfläche vorkommenden Bodenformen hervor. Um die

Kategorien der letzteren zu unterscheiden, ist es notwendig, erst die Thalbildungen zu betrachten; denn sie sind ein Hauptmoment in den Gestaltungen der Gebirge und geben einen wichtigen Anhalt zur Charakterisierung der Haupttypen derselben.

A. Die Hohlformen des Festlandes: Senken und Thäler.

In verschiedener Art gestalten und gruppieren sich die Hohlformen im Relief des Festlandes. Zwischen weit voneinander entfernten Anschwellungen senkt der Boden sich in Gestalt einer grossen flachen Mulde herab. Einzelne Gebirgszüge werden durch minder breite Einsenkungen voneinander geschieden. Und wenn man die einzelnen kleineren und grösseren Gebirge nach ihrer Plastik untersucht, so bilden die Thäler ein mannigfaltiges Bild. Das eine übersteigt der Reisende, indem er einem langgestreckten Längsthale zwischen regelmässigen Bergrücken folgt, dann durch eine Querschlucht nach einem in höherm Niveau gelegenen Längsthale, und vielleicht auf ähnlichem Wege nach einem dritten und vierten gelangt, um dann über die Einsattlung in einem wasserscheidenden Rücken nach jenseitigen Thalsystemen hinüberzusteigen. Bei einem andern Gebirge wandert er vom ersten Eintritte an in einem engen und tiefen, nur hier und da seine Richtung etwas verändernden und sich stellenweise ein wenig erweiternden Querthale aufwärts und gelangt aus ihm unmittelbar nach der Höhe des wasserscheidenden Kammes. Wiederum in einem andern Falle führt ihn eine bequeme Thalstrasse längs einem Strome auf ebenem Wege quer durch ein Gebirge hindurch, sodass er nur dessen getrennte Teile zu beiden Seiten aufragen sieht. Dann wieder steigt er auf einem Quergrate zwischen zwei unzugänglichen Schluchten nach der Zinne einer Gebirgsmauer hinan und befindet sich, wenn er sie erklommen hat, auf einer Hochfläche, auf welcher dieselben Flüsse, deren Engen er im Unterlaufe nicht zu folgen vermochte, langsam und ohne tief eingeschnittene Kanäle in sanften Mulden hinschleichen. Wenige Gegenstände bieten ihm so wechselreichen Stoff zur Beobachtung. Es zeigt sich, dass Gebirge, deren innerer Bau grosse Analogie darbietet, hinsichtlich der Anordnung und Gestalt der Thäler sehr verschieden voneinander sind, und man wird gewahr, dass, um ein Gebirge nach seinem physischen Charakter, wie nach seiner Bewohnbarkeit, seiner Kultivierbarkeit und seiner Rolle in den Verkehrsbeziehungen zu verstehen und zu beschreiben, die eingesenkten Furchen eine

§ 268.

noch wichtigere Rolle haben als die meist zu ausschliesslich berücksichtigten Höhenverhältnisse der Kämme und Grate. Die Art, wie die Thäler eingesenkt sind, bedingt im Vereine mit der Tektonik die äussere Gliederung.

Der Begriff eines Thales wird verschieden gefasst. Bald versteht man darunter nur die weiteren, mit ebenem Boden versehenen Einsenkungen im Berglande; bald dehnt man ihn auf jede enge Schlucht und jeden vom Wasser benutzten, nicht allzu kleinen Riss aus; dann erweitert man ihn noch mehr und wendet ihn auf die Summe aller Hohlformen an, deren tiefste Stellen von einem und demselben Strome durchzogen werden. Der allgemeine deutsche Sprachgebrauch ist in dieser Beziehung arm; Gebirgsbewohner verfügen über einen reichern Schatz von Ausdrücken, die aber dem Bewohner des Flachlandes nicht verständlich sind und sich wissenschaftlich grössenteils nicht verwerten lassen. Die genannten Fassungen des Begriffes „Thal" sind teils der landschaftlichen Physiognomie entnommen, teils der Hydrographie. Für die physische Geographie aber ist das Thal ein Begriff der Oroplastik. Von deren Gesichtspunkten ist es daher aufzufassen. Man erkennt sofort, dass der landschaftliche Begriff zu eng ist, der hydrographische dagegen viel zu weit. Ein Fluss durchströmt eine Reihe verschiedenartiger oroplastischer Einsenkungen, die Verbindung derselben durch den Wasserlauf ist von hoher Wichtigkeit, aber sie ist ein zufälliges und veränderliches Moment. Fasst man die von einem Flusse, z. B. dem Rheine und seinen Zuflüssen, durchströmten Hohlformen näher ins Auge, so sieht man leicht, dass einzelne von ihnen auch ohne die Wasserader bestehen würden, andere hingegen von ihr abhängig sind. Auch ist es offenbar, dass die Furche, welche von dem Wasser unmittelbar durchströmt wird, an einzelnen Stellen ein sekundäres Moment innerhalb einer grössern selbständigen Hohlform ist, an anderen aber für sich allein die einzige bestehende Hohlform darbietet. Dadurch werden von Grund aus zwei Kategorien gesondert. Man kann diejenigen Hohlformen, welche in dem Relief ursprünglich begründet sind oder durch tektonische Vorgänge darin geschaffen wurden, als selbständige Thäler, die durch Wasser und Eis gebildeten als Skulpturthäler bezeichnen. Sie sind in zahlreichen Fällen leicht voneinander zu unterscheiden. In vielen anderen ist es zweifelhaft, ob die Unabhängigkeit der Entstehung von den von aussen wirkenden Kräften oder die Ausarbeitung durch

dieselben in dem Endergebnisse der äussern Gestalt überwogen habe; es wird dann darauf ankommen, zu entscheiden, welche Kraft die primär wirkende gewesen ist. In jedem grössern Stromlaufe sind mehrere selbständige Thäler durch Skulpturfurchen miteinander in Verbindung gesetzt.

Unter den selbständigen Hohlformen lassen sich theoretisch zwei Arten unterscheiden. Die einen können als ursprüngliche Hohlformen bezeichnet werden. Es sind die becken- oder muldenförmigen Einsenkungen des Meeresbodens, welche bei der Umgestaltung des letztern in Festland bestehen bleiben und die von den Anschwellungen abrinnenden Gewässer in sich aufnehmen. Bei trockenem Klima können sie die Gestalt abgeschlossener Becken bewahren, bei feuchtem werden sie die erste Richtung der Hauptlinien des Abflusses bestimmen. Sie sind ein wichtiges Element in den Tafelländern und in den Centralgebieten der Kontinente, da die ursprüngliche Gestalt in beiderlei Gebieten häufig noch erhalten ist. Aber sie sind überall von Bedeutung gewesen und haben dieselbe auch in stark gestörten Gebieten noch vielfach bewahrt. Wir werden uns dennoch hier des nur theoretisch allgemein zulässigen Ausdruckes „ursprüngliche Hohlformen" nicht bedienen, weil es selten möglich ist, die Momente der ursprünglichen Gestalt und der späteren tektonischen Veränderungen voneinander zu trennen. Es erscheint zweckmässiger, die grossen „Centralbecken der Kontinente", wie sie auf Seite 275 bezeichnet wurden, für welche im grossen und ganzen der hier vorausgesetzte Ursprung gilt, als eine Kategorie, nämlich diejenige der Landsenken, zusammenzufassen. Die zweite unter denjenigen Kategorien, welche keine ursächlichen Beziehungen zu erodierenden Agentien haben, besteht aus den tektonischen Hohlformen. Sie werden durch Faltung, Ueberschiebung und Absenkung hervorgebracht. Der weitern Verfolgung dieser Unterscheidungen mag die Erörterung eines morphographischen Momentes vorangeschickt werden.

§ 269. Richtung, Lage und Gestalt der Thäler. — Unabhängig von der genannten Einteilung kann man den Hohlformen nach ihren Beziehungen zur Gebirgsgliederung besondere Bezeichnungen geben. Je nach der Lage im Innern von Gebirgen oder an deren Aussengrenzen oder in Flachboden kann man unterscheiden: Gebirgsthäler, Saumthäler und Thäler der Flachboden. — In denjenigen Gebirgen, in welchen Faltung, Ueberschiebung und dicht gedrängter Staffelbruch einen Parallelismus der innern

Gliederung verursachen, sondert man die an diesem teilnehmenden Längsthäler von den nahezu rechtwinklig oder unter schiefen Winkeln gegen ihn gerichteten Querthälern und Diagonalthälern. In Tafelländern und in Flachboden überhaupt fehlen diese Formen, weil analoge Beziehungen zwischen innerm Baue und plastischer Gliederung nicht bestehen. Am nächsten kommen ihnen in diesen die Bruchrandthäler, welche dem Fusse von Absenkungswällen folgen, ferner die Furchen, welche die letzteren quer durchbrechen, und diejenigen Stromfurchen, deren Richtung durch den Boden ursprünglicher Hohlformen oder durch geringe konkave Biegungen des Tafellandes bestimmt wird. Häufiger sind hier die neutralen Stromfurchen, bei denen solche Einflüsse nicht zu erkennen sind, die aber doch in ihrem Verlaufe teilweise durch Kluftrichtungen bestimmt sein können.

So wenig sich auf diese für Beschreibung und Charakteristik wertvollen Unterschiede eine durchgreifende systematische Einteilung der Thäler begründen lässt, so wenig kann sich eine solche auf die Lagerung der Schichten stützen. Von diesem bei der Beobachtung stets zu berücksichtigenden Gesichtspunkte unterscheidet man: synklinale, antiklinale und isoklinale Thäler in Faltungsgebirgen. Die Begriffe sind aus früheren Erörterungen klar (s. § 59). Ergänzende, auf horizontale Lagerung bezügliche Benennungen sind nicht eingeführt worden, würden sich aber leicht zur Vervollständigung hinzufügen lassen.

Sehr verschieden sind die Formen der Thäler. Jedes einzelne Thal ist in dieser Beziehung individualisiert. Wo der Boden flach ist, kommen, abgesehen von dessen Ausfurchung, die Formen der Mulde, des Troges und des Beckens vor. Die erste ist in der Längsrichtung wenigstens nach einer Seite geöffnet, die zweite und dritte sind in dieser Richtung nach beiden Enden geschlossen; bei dem Troge überwiegt die Längsrichtung; bei dem Becken ist diese der Querrichtung ungefähr gleich. Alle drei Formen können symmetrisch oder asymmetrisch gestaltet sein, je nachdem das Querprofil eine geringe oder eine bedeutende Differenz in der Neigung der einander gegenüberliegenden Gehänge zeigt. Die Asymmetrie wird am grössten bei den Saumthälern der Gebirgsgrenzen und bei den in Tafelländern durch Absenkung hervorgebrachten Thälern; hier kann sich eine Thalwand der Vertikale, die andere der Horizontale nähern. Die genannten Gestalten finden sich bei

den ursprünglichen Hohlformen, wenn auch oft ausserordentlich unregelmässig. Ebenso wird stets eine von ihnen vorhanden sein, wo die Tektonik Hohlformen hervorruft. Jede von ihnen kann auch durch die Skulptur allein geschaffen werden. Ausserdem aber schafft diese die Formen von Furchen, Rinnen und senkrechten Einschnitten. Diese ermangeln eines breiten flachen Thalbodens.

Wir kehren nun zu dem genetischen Gesichtspunkte zurück und betrachten gesondert die Landsenken, die tektonischen Thäler und die Skulpturthäler.

1) Die Landsenken.)*

§ 270. Wenn wir im Gegensatze zu den Hohlformen der Gebirgsgliederung diejenigen der kontinentalen Gliederung als eine selbständige, wenn auch keineswegs scharf abgetrennte Kategorie unterscheiden, so verstehen wir darunter die weiten Einsenkungen, welche teils die grossen Gebirgsgruppen, teils die einzelnen Gebirge voneinander sondern. Wir bezeichnen sie den Thälern gegenüber als Senken. Sie wurden bereits in §§ 122 und 123 in ihren Beziehungen zur Seebildung, sowie nach dem Gesichtspunkte der Aenderungen, welche sie erleiden können, betrachtet. Es ergab sich, dass sie zwar grossenteils als ursprüngliche Hohlformen zu betrachten sind, aber teils durch die späteren Bewegungen in der Erdrinde grosse Umgestaltungen erfahren haben, teils auch ihnen allein ihre Entstehung verdanken. Besondern Charakter erhalten sie durch die Art und Form der Ausfüllung, welche häufig in den tiefsten Teilen noch von Wasser bedeckt ist. Oft auch werden sie von Stromfurchen in verzweigtem Netze durchschnitten.

Man kann nach der relativen Lage der Isohypsen, d. h. nach dem Relief, die Flachsenke, die Tiefsenke und die Randsenke unterscheiden; die erstere liegt ganz im Flachboden oder ist von sanft aufsteigendem Lande umgeben; die zweite ist von hohen Gebirgen umragt; die dritte hat dieses zur einen, Flachland zur andern Seite.

---

*) Der Ausdruck „Landsenken“ ist der „Allgemeinen Orographie“ von C. v. Sonklar (Wien 1873) entnommen, wo er jedoch nur für weite und flache Senken innerhalb des Flachlandes angewendet wird. Im übrigen konnte diesem verdienstvollen Werke hier nicht gefolgt werden, da die Betrachtung in demselben zu sehr von morphographischen Gesichtspunkten ausgeht.

Der Horizontalumriss ergiebt auch hier die Formen der Muldensenke, der Trogsenke und der Beckensenke.

Das Verhältnis zur kontinentalen Plastik führt zur Unterscheidung der Tieflandsenke, der Hochlandsenke und der Tafellandsenke.

Endlich gehen aus der Lage zu Kontinent und Ocean die centrale oder Binnensenke und die peripherische Senke hervor.

Die grossen, im kontinentalen Relief von Afrika sich zeichnenden Becken des Tsad, des Kongo und des Ngami würden als centrale Flachbeckensenken, das Tarymbecken als eine centrale Tiefbeckensenke, die dsungarische Mulde als eine centrale Tiefmuldensenke zu bezeichnen sein. Die Unterscheidung „abflusslos“ und „abfliessend“ könnte als Bezeichnung eines wichtigen Merkmals hinzugefügt werden. Ausgezeichnete Beispiele von Randsenken bieten: die von Indus, Ganges und Brahmaputra durchströmte Depression im Süden des Himalaya, diejenige des Tigris und Euphrat, diejenige des Wéithales in China (Provinz Schensi), diejenige im Norden der Pyrenäen. — Für Hoch(land)beckensenken und Hochmuldensenken sind die Beispiele im Great-Basin, in den Anden von Ecuador, Peru und Bolivia, in Tibet und auf dem eranischen Hochlande leicht zu finden. Es sind Senken zwischen einzelnen Gebirgszügen innerhalb eines Gebirgslandes; sie werden in ihrer Gestalt durch den sie erfüllenden Aufschüttungsboden erheblich beeinflusst.

Derartige morphographische Bezeichnungen werden gegenwärtig zur Charakteristik der grossen kontinentalen Hohlformen noch hinreichen müssen. Kann man auch in manchen Fällen darüber hinausgehen und z. B. bezüglich des grossen Flachlandes im nordöstlichen China von einer peripherischen Bruchlandsenke sprechen, so würde es doch gewagt sein, das genetische Moment, welches noch zu ungenügend bekannt ist, allgemeiner zu betonen.

2) Die tektonischen Thäler.

§ 271. Unter dieser Bezeichnung sind alle diejenigen Gebirgs- und Saumthäler zusammenzufassen, welche ihre primäre Entstehung als Hohlformen in der Plastik der Deformation der Erdrinde durch Bewegungen in derselben verdanken. Sie sind stets durch Erosion nachträglich umgestaltet worden. Häufig ist die ursprüngliche Form gut erhalten und die primäre Bildungsart

noch deutlich ersichtlich; aber jene kann auch bis zur Unkenntlichkeit entstellt sein. Je nachdem Faltung oder Verwerfung zu Grunde liegt, kann man zwei Hauptabteilungen unterscheiden:

a. Tektonische Faltungsthäler.

Dies sind longitudinale Hohlformen, welche bei dem Zusammenschube durch Faltung und Ueberschiebung entstanden sind. Sie sind auf die eigentlichen Faltungsgebirge beschränkt. Hinsichtlich der Beziehungen zur innern Gebirgsanordnung gehören hierher wesentlich Längsthäler. Es lassen sich als Typen unterscheiden:

1) Scheitelthäler, welche durch Schichtenaufbruch auf dem Scheitel einer Wölbung entstanden sind und daher von antiklinal gelagerten Schichten eingefasst werden. Es sind eigentliche longitudinale Aufspaltungen.

2) Sohlenthäler, welche in den Faltungsmulden, daher in synklinal gelagerten Schichten liegen. Die letztere Form ist häufiger als die erstere; aber beide gehören nicht zu den gewöhnlichen Erscheinungen in Faltungsgebirgen. Sie finden sich in solchen unter diesen, bei denen die Faltung einen nur mässigen Grad erreicht hat. Dr. Löwl bezeichnet das Scheitelthal als Anarrhegma, das Sohlenthal als Symptygma.*)

3) Flankenthäler. So kann man diejenigen longitudinalen Hohlformen benennen, welche in isokline Schichten eines einfachen Schichtensystems eingesenkt sind. Es ist möglich, dass sie durch tektonische Bewegung gebildet werden können. Als Produkte der Gebirgsskulptur sind sie häufig.

4) Schuppenthäler (paraklastische Thäler L. z. Th.) können alle auf Ueberschiebung und Aufschiebung im Innern der Faltungsgebirge beruhenden longitudinalen Hohlformen genannt werden, gleichviel ob man es mit liegenden Falten

*) Dr. F. Löwl. Ueber Thalbildung. Prag 1884. Diese Arbeit enthält Studien von hohem Werte und Interesse über die Thalbildung und ist jedem, welcher eigene Beobachtungen über den Gegenstand anstellen will, zu empfehlen. Die darin eingeführten Benennungen sollen hier, insoweit die im folgenden unterschiedenen Thalformen von Löwl berücksichtigt worden sind (mit der Bezeichnung L.), erwähnt werden. Es schien zweckmässig, an dieser Stelle einfache und leichtverständliche Namen anzuwenden; dies möge es entschuldigen, dass jene nur in Parenthese angeführt sind.

oder mit vollkommener Schuppenstruktur (s. § 260) zu thun habe. Die Schichten beider Flügel sind infolge von Denudation fast immer nach derselben Richtung, und zwar meist gegen das Innere des Gebirges hin, vollkommen oder beinahe isoklin geneigt; aber es ist zu beachten, dass in den früheren Stadien der Denudation die Schichten des Hangendflügels eine andere Neigung gehabt haben müssen. Schuppenthäler sind eine häufige Erscheinung in Nordtirol und Vorarlberg.

5) Ueberwallungsthäler (heteroptygmatische Thäler L.). Dies sind weite Saumthäler an der äussern Seite der Faltungsgebirge. Der von der Richtung der Gebirgsachse herkommende laterale Druck hat die Faltungen hinübergepresst über die vorliegende Scholle der Erdrinde. Da diese in der Regel gegen das Gebirge hin sich senkt, so entsteht eine breite Hohlform, die auf einer Seite von den Abfällen des Faltungsgebirges begrenzt ist, während die Scholle zugleich den Boden und das langgezogene Gegengehänge bildet. Diese Hohlformen, welche hier mit Rücksicht auf die Gebirgsstruktur eingereiht werden, sind in vielen Fällen identisch mit den vorher genannten Randsenken. Fast stets sind sie bis zu beträchtlicher Höhe von Sedimenten ausgefüllt, und meist dienen sie einem grossen, die Flüsse des Gebirges aufnehmenden Strome zum Bette. Das Glacis der vom Gebirge herabgeführten Sedimente hat in der Regel den Strom in grössere Entfernung von den Faltungen nach einem höhern Teile des angrenzenden Schollenflügels hin verlegt. Die Stromläufe des Tigris, der Donau im Norden der Alpen und im Süden der transsylvanischen Alpen, die Oberläufe des Dnjestr, Pruth und Szereth mögen als Beispiele dienen.

b. Tektonische Absenkungsthäler.

Während die abnorme Verwerfung oder Ueberschiebung wahrscheinlich nur Längsthäler verursacht, welche auf die eigentlichen Faltungsgebirge beschränkt sind, bringt es die Natur der normalen Verwerfung oder Absenkung mit sich, dass die Lösungen des Verbandes sowohl parallel den Gebirgsrichtungen wie quer zu denselben geschehen, und dass sie nicht nur in den eigentlichen Faltungsgebirgen, sondern ebenso in Abrasionsgebirgen und im Tafellande vorkommen. Das Wesentliche

der Entstehung ist die Bildung eines Bruches und die Abwärtsbewegung eines Flügels, womit eine Horizontalverschiebung verbunden sein kann. Es ist oben (§ 256) dargestellt worden, dass senkrechte Verschiebung bezüglich der horizontalen Dimensionen des Raumes eine Veränderung nicht anzeigt, das Hinabgleiten auf einer schief einfallenden Bruchfläche hingegen das Merkmal einer Raumerweiterung, also einer Dehnung ist. Es ist wahrscheinlich, dass die Ausbrüche vulkanischer Gesteine an die Verschiebungen der letztern Art gebunden sind. Die Zahl der vorkommenden Typen ist gross. Nur einige wesentliche sollen hier hervorgehoben werden.

6) Längsbruchthäler (kataklastische Thäler L. z. Th.). Wir verstehen hierunter die Hohlformen, welche longitudinalen, d. h. dem allgemeinen Schichtenstreichen parallelen Absenkungen folgen. Sie gehören zu den wichtigsten und bedeutendsten Thalformen der Gebirgsländer und finden sich ebenso in den eigentlichen Faltungsgebirgen, wie in Rumpfgebirgen und auf breiten Abrasionsflächen. Bei den ersteren scheinen sie auf die Innenseite beschränkt zu sein. Beispiele bieten die Innenseite der östlichen Karpathen in Ungarn und Siebenbürgen, das Pusterthal in den Alpen. Ungleich grössere Bedeutung haben sie in alten abradierten Gebirgen. Von bedeutenderen Beispielen können genannt werden: der steile Ostabfall der Sierra Nevada in Kalifornien, die Südostseite des Erzgebirges, die Südseite des Balkan, der Nordabfall des Thüringerwaldes, die Nordabfälle der Kwenlunketten. Alle diese Fälle haben das gemeinsame Merkmal, dass die Hohlform zwar einheitlich ist, aber in eine grössere Anzahl von Thalstrecken zerfällt, welche von Strömen in kürzerer Erstreckung eingenommen werden. Die Ursache liegt in dem Umstande, dass die genannten Gebirge Schollen sind, deren flache Neigung nach der dem Längsbruchthale entgegengesetzten Seite gerichtet ist. Dorthin rinnen die Gewässer ab, und die Wasserscheide liegt meist dicht an der Hohlform. Die Zuflüsse der letztern erhalten wenig Speisung und vermögen selbst bei reichlichem Regenfalle in dem harten Gesteine nur langsam rückwärts zu arbeiten. Daher werden sie durch Schuttkegel wenig abgedrängt und halten sich nahe an den Fuss des Gebirges. Sie stehen dadurch im Gegensatze zu den Ueberwallungsthälern. Die ihnen zu Grunde

liegende Bewegung ist lateraler Zug, und dementsprechend sind sie häufig von Ausbrüchen von Eruptivgesteinen, besonders solchen des jüngsten Zeitalters, begleitet, was bei den auf Zusammenschiebung beruhenden longitudinalen Hohlformen nicht der Fall ist. Ein Längsbruchthal kann mit einer Grabenversenkung, wenn sie schmal ist, vollständig zusammenfallen; so ist diejenige zwischen Schwarzwald und Vogesen, welche sich den genannten Gebirgen analog verhalten, ein doppelseitiges Längsbruchthal. Es kann aber auch ein Längsbruchthal nur ein randliches Gebilde in einer sehr breiten Grabensenkung sein, wie es bei derjenigen der Fall ist, welche zuerst Hochstetter zwischen Balkan und Rhodope erkannt hat. Hier sind zwei Längsbruchthäler durch ein zwischen ihnen aufragendes, aber im Verhältnisse zu den Einfassungen tief versenktes Gebirge getrennt. Andere Längsbruchthäler giebt es, welchen die Ströme des stehengebliebenen Gebirges zueilen. Ein grosses Beispiel bietet der obere Hanfluss an der Südseite des östlichen Kwenlun in China. — In vielen Fällen, wo transgredierende Schichtgebilde den abradierten Grundbau verhüllen und Bruchthäler in jenen auftreten, mögen die letzteren ebenfalls durch die Streichrichtung des Grundbaues bestimmt werden.

7) Blattverschiebungsthäler (paraklastische Thäler L.). Der Blattverschiebung (§ 258) liegt eine Zerberstung des Faltungsgebirges quer zur Streichrichtung zu Grunde, während in ihrer Aeusserung das horizontale Vorwärtsschieben des einen Teiles das charakteristische Moment bildet, gegen welches die zweite Bewegungskomponente, nämlich die vertikale Senkung, zurücktritt. Ein Schleppen der Schichten in horizontalem Sinne, ähnlich wie es bei der Flexur (§ 257) in vertikalem Sinne stattfindet, scheint, wie erwähnt, eine häufig begleitende Erscheinung zu sein. Man kann dies als horizontale oder Blattflexur bezeichnen; sie ist an einer in der Horizontalprojektion (also auf der geologischen Karte) S-förmig erscheinenden Krümmung des Schichtenstreichens kenntlich. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass zuweilen Hohlformen unmittelbar durch diese Gebirgsbewegung gebildet worden sind, da dieselbe mit Streckung verbunden ist; aber auch wenn die verschobenen Teile dicht aneinander gedrängt waren und der Betrag der Verschiebung gering war, hat die Erosion an den meist

vertikalen Bruchflächen fortgearbeitet und Kanäle ausgehöhlt, an deren gegenüberstehenden Wänden die Diskontinuität der Schichten deutlich zu beobachten ist (s. Fig. 100, S. 596).

8) Grabensenkungsthäler (bikataklastische Thäler L.). Die Natur dieser Thäler ergiebt sich unmittelbar aus dem Begriffe der Grabensenkung (§ 257). Sie kommen im gefalteten Gebirge ebenso wie im Tafellande vor und können sehr bedeutende Dimensionen erreichen. Bei einer vergleichenden Zusammenstellung aller bis jetzt bekannt gewordenen hierher gehörigen Hohlformen, welche als ein dankbares Studienobjekt zu empfehlen ist, würde man vermutlich ein vielfach verschiedenes Verhalten finden. Dem senkrechten Niedergehen des Granites im Yosemitethale (s. S. 535) entsprechen wahrscheinlich viele ähnliche Fälle von geringer Ausdehnung, welche Plastik und Wasserabfluss in eigentümlicher Weise beeinflussen. Während es hier an begleitenden Erscheinungen fehlt, heften sich an die grossen, staffelförmig niedergehenden und auf Streckung der Erdrinde beruhenden Grabenversenkungen fast stets Vulkane und heisse Quellen (Gräben des Jordanthales und des Roten Meeres, Oberrheinthal, Querversenkung der Sierra Nevada [S. 566], grosse diagonale Grabensenkung des mittlern Japan nach Naumann u. s. w.). — Man kann in Faltungsgebirgen Längsgräben, welche dem allgemeinen Schichtenstreichen parallel sind, und Quergräben unterscheiden, dagegen die entsprechenden Hohlformen der Tafelländer, bei welchen diese Ausdrücke keine Bedeutung haben, als Tafelgräben bezeichnen. Es scheint bei Längsgräben häufiger als bei Quergräben vorzukommen, dass die getrennten Schollen gegen den Grabenrand ansteigen, wie in den Fällen von Schwarzwald und Vogesen und den Gebirgen an der Westseite des Roten Meeres.

9) Endbruchthäler. Wo ein in grosser Länge regelmässig fortlaufendes Gebirge plötzlich quer zu seinem Streichen abgebrochen ist und verschwindet, ist an seiner Stelle eine Hohlform vorhanden. Man kann die Querfläche, an welcher es abschneidet, als einen Endbruch bezeichnen. Beispiele dafür geben das Ostende des Kwenlun zwischen dem 113. und 114. Längengrad und das Ostende der Alpen bei Wien. Solche Thäler sind selten. Auch sind sie unvollkommene Gebilde, da sie meist Teile

grösserer Verebnungen bilden. Aber sie sind wichtig für die Oberflächengestaltung und für den Verkehr.

10) Tafelbruchthäler. Mit dieser Bezeichnung können vorläufig die auf Bruch und Absenkung beruhenden Thäler der Tafelländer zusammengefasst werden. Von Interesse sind besonders die Thäler am Fusse der einzelnen Wallabbrüche bei Staffelsenkungen, wie sie in Fig. 94 (S. 591) im Querschnitte erkennbar sind.

11) Kesselbruchthäler (ringförmige Kataklasen L.). Jeder Kesselbruch (§ 257) schafft eine Hohlform im Relief. Ihre Entstehung beruht nur in manchen Fällen auf Vorgängen im tiefen Innern der Erdrinde. Wo Auslaugung die Ursache des Einbruchs ist, ist eigentlich die Einordnung der betreffenden Hohlform unter die tektonischen Thäler nicht mehr vollkommen zulässig, indem ein Element der Skulptur gestaltend eintritt. Kesselbruchthäler dieser Art kommen in den verschiedensten Gegenden vor und sind überall als Seebehältnisse (§ 120) oder als Kulturstätten wichtig, weil fruchtbares Erdreich in ihnen zusammengeschwemmt wird. Hierher gehören die noch nicht näher untersuchten Ringwallbecken im westlichen Macedonien. Eine andere Form sind die von Vulkanen ausgefüllten Kesselbrüche (s. S. 566 und 570). Hier nimmt die meist in einzelne Becken geteilte Hohlform eine ringförmige Gestalt an.

3) Die Skulpturthäler.

§ 272. Wo immer Verwitterung, Spaltenfrost, fliessendes Wasser, strömendes Eis und bewegte Luft thätig sind, arbeiten sie an einer Erdstelle an der Ausmeisslung der äusseren Formen, an einer andern an der Verhüllung derselben. Sie wirken denudierend und ciselierend an den Flanken jeder ursprünglichen und jeder tektonisch gebildeten Hohlform und können deren Gestalt ganz verändern, bleiben dann aber selbst nur ein sekundäres Agens, und ebenso erscheinen die von ihnen ausgewaschenen Furchen an solchen Stellen als ein Element zweiten Ranges. Von Skulpturthälern im eigentlichen Sinne kann vom systematischen Prinzipe nur die Rede sein, wo die Skulptur das primäre Agens ist, also zunächst dort, wo überhaupt eine tektonische Hohlform nicht vorliegt; dann aber auch in den exponierten Teilen der letztern. Sie können in ihrer Ausgestaltung

durch tektonische Verhältnisse, welche nicht direkt mit der Bildung von Hohlformen verbunden sind, insbesondere die Gesteinszerklüftung, in hohem Grade beeinflusst werden; aber alsdann ist die Erosion das primäre Agens, die Tektonik tritt in den zweiten Rang zurück.

Der Anteil, welchen die genannten Agentien einzeln und unter verschiedenartigen Umständen an den Formveränderungen der Erdoberfläche nehmen, ist in früheren Kapiteln (Kap. VI, VII, XI) gekennzeichnet worden. Die bewegte Luft ist das am weitesten verbreitete unter ihnen; aber ihre Wirkung besteht mehr in regionaler Abtragung und regionaler Aufschüttung, als in dem Hervorbringen von Hohlformen. Für diese ist das fliessende Wasser das allgemeinste und in der Summierung der Effekte wirksamste Agens, während das strömende Eis in seiner Thätigkeit regional beschränkt ist. Die Grundformen der durch die Skulptur geschaffenen Hohlformen sind: die Furche mit abgeböschten Wänden und ebenem Boden, die durch die spitzwinklige Vereinigung der Thalwände charakterisierte Rinne und die Kerbe oder der senkrechte Einschnitt. Aber je weicher die Gesteine und je feuchter das Klima, desto mehr können durch seitliche Erosionsarbeit und durch das von unten nach oben geschehende Fortwachsen der in eine Hauptfurche seitlich einmündenden Erosionskanäle die Formen der Mulde, des Troges und des Beckens ausgebildet werden. Das strömende Eis übernimmt in einzelnen Erdräumen die Aufgabe, die Skulpturthäler weiter auszugestalten. Die Trichter wandelt es in Kare um (§ 112); aus der Furche und Rinne schafft es glatt ausgeschliffene Felsmulden, deren flache Sohle mittelst konkaver Krümmung in die steilen Flächen der Wände übergeht. Es vertieft durch Ausräumung die Randsenken an den Stellen, wo die anderen Agentien die grössten Schuttanhäufungen schaffen (§ 111). In Bezug auf Thalbildung erscheint daher das Eis als ein umgestaltendes, nicht als ein primär schaffendes Agens, wie es das Wasser in hohem Masse ist.

Um die Skulpturthäler in Kategorien zu sondern, muss man sich erinnern, dass die Erosionsgeschichte jedes festländischen Gebietes mit der ersten Trockenlegung desselben begann, und die rinnenden Gewässer zuerst der Neigung des vormaligen Meeresbodens folgten (s. S. 186). Der Meeresboden aber ist entweder die Oberfläche einer submarin abgelagerten Schichtmasse, welche einem ältern gefalteten und in der Regel

abradierten Grundgebirge auflagert, oder sie besteht — und dies ist der seltenere Fall — aus einer beinahe unverhüllten Abrasionsfläche. Hieraus lässt sich eine erste und für das Verständnis der Skulpturthäler wichtige, bereits früher (§§ 80, 81) ausgeführte Einteilung ableiten, nämlich:

1) unmittelbar in das Grundgerüst eingeschnittene Skulpturthäler;

2) durch übergelagerte Schichten hindurch in das Grundgerüst eingeschnittene Skulpturthäler; wir nannten sie epigenetische Thäler;

3) solche Skulpturfurchen, welche nur in die auflagernden Schichten, d. h. in Tafelland, eingeschnitten sind, ohne das Grundgebirge zu erreichen; dies sind die Tafellandthäler.

Da das Vorschreiten der Brandungswelle bei der allmählichen Bildung der Abrasionsfläche, falls diese durch gefaltetes Gebirge zieht, in der Regel rechtwinklig zum Streichen des letztern geschieht, und sie sich bei der Trockenlegung im allgemeinen in derselben Richtung zurückzieht, so wird die erste Anlage der Erosionsfurchen aus einer unverhüllt aus dem Meere aufsteigenden Abrasionsfläche ebenfalls rechtwinklig zum Schichtenstreichen erfolgen. Daher ist die Querfurche die Grundform in Abrasionsgebirgen. Wo sich auf dem Meeresgrunde Schichtmassen abgelagert haben, können sie die, ihre Unterlage bildende Abrasionsfläche ebenmässig bedecken, sodass die Neigung unverändert bleibt; der häufigere Fall ist aber der, dass infolge wechselnder Mächtigkeit die Neigung eine andere wird. Bei Tafellandthälern (§ 74) ist daher die Richtung eine neutrale; sie folgt bei jeder Rinne der grössten Neigung. Bei epigenetischen Thälern hingegen findet sich am häufigsten eine diagonale Richtung, d. h. sie ist schiefwinklig zur Streichrichtung der gefalteten Schichtgesteine. Es finden dann in diesen die in § 79 dargestellten Zerlegungen statt.

Wenn nach der ersten Bildung der Erosionsfurchen auf trockengelegtem Meeresboden die Vermehrung des Gefälles ein tieferes Einschneiden gestattet, treten dreierlei Tendenzen ein. Die eine ist diejenige des Beharrens in der Richtung der Vertikale, d. h. die senkrechte Vertiefung der bestehenden Kanäle, welche in der Richtung von unten nach oben fortschreitet (§ 67); die zweite ist die Anpassung an das Gestein, wobei dessen Härteunterschiede, Lagerung (§§ 77, 78) und Zerklüftung (§ 82) Abweichungen von der ursprünglichen Richtung verursachen;

die dritte ist die Bildung von Zuströmungsfurchen ersten Grades, welche wiederum solche zweiten Grades u. s. f. veranlassen. Jede Zuströmungsfurche vertieft sich von unten nach oben. Das Mass, in welchem dies geschieht, hängt zum Teile von der Tiefe ab, welche die aufnehmende Furche erreicht hat; sodann von der Härte und Lagerung der Gesteine und von der Masse des fliessenden Wassers.

Diese Tendenzen kommen in den grossen Schollen und Tafelländern, welche keine wesentlichen Umgestaltungen mehr erfahren haben, am reinsten zur Geltung. In anderen Erdräumen haben nachträglich tektonische Vorgänge störend eingegriffen. Durch Faltung und Ueberschiebung entstehen tektonische Längsthäler rechtwinklig zu den unmittelbar eingeschnittenen Querfurchen, schiefwinklig zu den epigenetischen Thälern; durch normale Verwerfung bilden sich Hohlformen in jeder beliebigen Richtung zu jenen, ebenso wie zu den Tafellandfurchen. Die Gewässer werden zum Teile gezwungen, ihnen zu folgen und mit ihrer Richtung die Art ihrer Arbeit zu ändern. Durch Faltung werden neue Wasserscheiden gebildet; die Gewässer rinnen von ihnen quer gegen die Streichrichtung derselben, zum Teile in den alten, zum Teile in neu gebildeten Kanälen hinab; auch diese neuen Kanäle vertiefen sich von unten nach oben, am stärksten auf der Regenseite des Gebirges, und können allmählich die Falte durchschneiden, um die Gewässer aus einem jenseits gelegenen tektonischen Thale, oft durch das Hinzutreten von Aufschüttungen in demselben unterstützt (§ 67), abzuleiten. So kommt es, dass in Faltungsgebirgen die tektonischen Längsthäler herrschen, dieselben aber gewöhnlich streckenweise in einzelne Tröge geteilt sind, welche durch Querfurchen in Verbindung miteinander stehen. Diese Furchen können zum Teile von der frühesten Abflussentwicklung des Gebirges herrühren, zum Teile sind sie späterer Entstehung.

Es ist nicht schwierig, die wesentliche Entstehungsursache dieser Querverbindungsfurchen in der Erosion zu erkennen; sie kann durch die Anwesenheit eines Blattverschiebungsbruches oder durch Torsionszerklüftung unterstützt worden sein. Nicht so leicht ist es, die durch Erosion ursprünglich gebildete Längsfurche von dem tektonischen, durch Erosion sekundär umgestalteten Längsthale zu unterscheiden. Wenn wir hier den Begriff der Längsfurche auf diejenigen Fälle beschränken, wo die Erosion allein eine Furche in der Streichrichtung der

Schichten eingegraben hat, so besteht ihr charakteristisches Merkmal darin, dass sie in der Regel in Antiklinen eingeschnitten sind (s. S. 169). Wo dies nicht der Fall ist, haben sie doch wahrscheinlich ihre erste Bildung in antiklinalen Schichten gehabt und sind nur durch die Fortbildung nach der Tiefe (§ 77) in anders gelagerte Schichten gekommen. Als Ursache dieses selektiven Vorgehens der Erosion wurde bereits der Umstand angegeben, dass an den Gewölbebiegungen die Schichten gelockert, in den Mulden hingegen dichter zusammengepresst sind. Daher bilden die letzteren mit ihrer synklinalen Schichtenstellung häufig parallele Rücken zwischen den Längsfurchenthälern und senden ihnen Gewässer in Querfurchen zu. Alle diese Verhältnisse sind am reinsten in solchen Abrasionsgebirgen zu finden, bei denen tektonische Verschiebungen nach ihrer letzten Trockenlegung nicht stattgefunden haben.

Es erscheint als eine müssige Aufgabe, bei den Skulpturthälern eine weitere Einteilung in Kategorien zu versuchen. Der Hauptunterschied besteht in den Gestalten, welche durch Wasser und Eis hervorgerufen werden. Im übrigen sind die Erscheinungsformen teils nur graduell verschieden, teils beruhen sie in der Richtung der Thäler zum Streichen der Schichtgesteine, teils in der äussern Ausgestaltung durch klimatische Verhältnisse und in nachträglichen Aenderungen durch tektonische Vorgänge. Die zahlreichen Gesichtspunkte, welche sich dem Reisenden für die Beobachtung bieten, werden sich früheren Ausführungen entnehmen lassen. Besonders möge die Aufmerksamkeit noch einmal auf die epigenetischen Thäler und auf die Zerlegung diagonal gerichteter Skulpturfurchen durch tieferes Einschneiden in zwei Richtungen, wenn die Schichtgesteine geneigte Lagerung haben, gelenkt werden. In solchen Fällen ist es oft schwierig zu entscheiden, ob die tektonischen Vorgänge oder die erodierenden Agentien den primären Anteil an den äusseren Formen gehabt haben.

§ 273. Ein Gegenstand, über welchen noch wenig vergleichendes Material vorliegt, betrifft die Art der Anordnung der Thäler, welche sich häufig mit den Verzweigungen der Stromsysteme eng berührt, aber sich keineswegs mit denselben deckt. Eine Zusammenstellung der vorkommenden Fälle dürfte ein nicht unwichtiges Vergleichungsmoment für die Betrachtung der Gebirge geben. Von einzelnen bemerkenswerten Formen mögen

beispielsweise die Thalzüge hervorgehoben werden, welche für gewisse Typen von Gebirgen und für einzelne Gebirgsabfälle charakteristisch sind. Ein Thalzug ist eigentlich eine einzige langgedehnte Hohlform, welche in der Regel entweder der Absenkung oder der Faltung ihre Entstehung verdankt, aber durch Querscheiden in eine Reihe einzelner Thalbecken oder Thaltröge gesondert wird. Die Judikarienlinie, der Südostabfall des Erzgebirges und der Südabfall des Balkan geben ausgezeichnete Beispiele für die Umwandlung einer durch Absenkung entstandenen Hohlform in einen Thalzug. Ein Zug grosser beckenförmiger Senken begleitet den Nordabfall des Kwenlun in seiner ganzen Erstreckung. Reich an Thalzügen sind alle regelmässigen Faltungsgebirge. — Verschiedene Thäler gruppieren sich zu Thalsystemen. Man kann homotypische, deren Glieder sämtlich dem gleichen Typus angehören, und heterotypische, bei denen verschiedene Typen sich vereinigen, unterscheiden. Homotypisch sind vor allem die Systeme der Erosionsthäler im Tafellande. Auch diejenigen in Rumpfgebirgen bewahren oft die Homotypie in hohem Grade; so die nach Westen gerichteten Thalfurchen der kalifornischen Sierra Nevada, diejenigen, welche an der Ostabdachung des skandinavischen Gebirges quer hinabziehen und diejenigen des grossen Tsinlinggebirges in China. Hier stellt sich eine untergeordnete Heterotypie in dem Vorkommen einzelner Längsfurchen ein. Dagegen kommt diese in hervorragender Weise in allen Faltungsgebirgen zur Ausbildung, besonders dort, wo breite Zonen regional gefaltet sind. Die einzelnen gesonderten Strecken der den Faltungen folgenden tektonischen Thalzüge wechseln mit rechtwinklig dazu gestellten, meist engen Erosionsfurchen. Man kann dies als wechselständig-heterotypische Thalsysteme bezeichnen. Die Dinarischen Züge, das Zagrosgebirge, der nordwestliche Himalaya, die Gebirgswelt im Westen des Irawaddy, vor allem das südöstliche China, geben Beispiele hiervon.

Ein anderer, die Wege der Ströme in ihrem Verhältnisse zu den Gebirgen berücksichtigender Gesichtspunkt leitet zu der Unterscheidung von Gehängethälern und Durchgangsthälern. Die ersteren bilden Systeme, welche einem Gebirgsgehänge angehören, die letzteren durchsetzen ein Gebirge und gewähren Durchgang durch dasselbe; sie werden auch Durchbruchsthäler genannt; doch involviert diese Bezeichnung eine Theorie der Entstehung. Ein Gehängethal kann durchgreifend sein, indem

es die Achsenkette oder irgend eine Hauptkette durchbricht und seinen Ursprung auf einer jenseits gelegenen Nebenkette nimmt. Ein Durchgangsthal wird von einem Flusse durchströmt, welcher von einem andern, oft weit entfernten Gebirge oder doch wenigstens von einem selbständigen Gebirgsgliede herkommt. Es kann auch ein aus verschiedenartigen Gebirgssystemen zusammengesetztes Gebirgsband durchziehen. Der Rhein von Bingen bis Bonn bietet ein ausgezeichnetes Beispiel. Kleinere stellen die Pforten dar, durch welche die Donau bei Pressburg, bei Waitzen und am Eisernen Thor strömt, sowie die durch die South-Downs entweichenden Flüsse. In grösserm Massstabe findet sich die Erscheinung am Indus, Setledsch und Brahmaputra, am Yarkandflusse, am obern Hwang-hŏ, an demselben Flusse unterhalb Tung-kwan und am Hun-hŏ, wo er nordwestlich von Peking die Nankóukette durchströmt. Noch grossartiger bietet sie sich am Yang-tszĕ-kiang und Mekong. Reich an Beispielen sind Ostindien, Kleinasien, die pyrenäische Halbinsel und die Randgebiete der Südhälfte von Afrika. Sehr auffallend ist das ähnliche Verhältnis bei dem Isker. Die ursächliche Erklärung, welche in jedem einzelnen Falle verschieden sein wird, bietet in der Regel erhebliche Schwierigkeiten. Es scheint, dass man es in vielen, vielleicht in den meisten Fällen mit einer epigenetisch eingeleiteten Erosion zu thun hat; aber oft dürften noch andere Momente hinzukommen.

Eine andere Erscheinung, von welcher, gleich der vorigen, noch einmal bei den Wasserscheiden (§ 288) und Passübergängen die Rede sein wird, betrifft die Passfurchen, welche ein Gegenstück zu den Thalzügen bilden. Bei diesen wird ein tektonisches Thal, bei jenen eine Skulpturfurche durch eine Anschwellung der Sohle in Abschnitte geteilt, deren Gewässer verschiedenen Stromsystemen angehören.

B. Kategorien der Oberflächenformen.

§ 274. Wenn wir auf die Bemerkungen im Eingange dieses Kapitels zurückgehen und Gebirge und Flachboden als die beiden Grundformen der Oberflächengestalten betrachten, so lassen sich verschiedene Gesichtspunkte anwenden, um innerhalb dieser beiden grossen Klassen weitere Einteilungen vorzunehmen oder, worauf wir uns hier beschränken, gewisse Typen herauszuheben. Man hat dies besonders bei den Gebirgen versucht. Seit langer Zeit werden Kettengebirge, welche eine entschiedene Längsachse

haben, und Massengebirge, welche eine solche nicht besitzen, unterschieden; doch fasst man unter jeder dieser beiden Benennungen, besonders unter der letztern, sehr verschiedenartige orographische Gebilde zusammen. Einen Schritt weiter gingen B. v. Cotta und C. F. Naumann, von denen der eine die Gesteinszusammensetzung, der andere die äussere Gestalt als Einteilungsgrund wählte. Beide Prinzipien haben sich nicht als zweckmässig erwiesen. Besser erscheint es, das genetische Moment zu verwenden und die Gebirge nach der Aeusserungsart der ihrer Entstehung zu Grunde liegenden Kräfte einzuteilen. Da aber bei jedem Gebirge verschiedene Kräfte zusammengewirkt haben, um die heutige Gestalt hervorzubringen, so ist, ähnlich wie bei anderen im vorhergehenden versuchten Einteilungen, in jedem einzelnen Falle als Einteilungsgrund diejenige Kraft voranzustellen, welche die Gestalt primär veranlasst, d. h. das Gebirge als solches aus Massen, welche vorher keine Gebirgsnatur hatten, geschaffen hat. Es lassen sich dann Unterabteilungen auf Grund der sekundär umgestaltenden Kräfte unterscheiden. Allerdings gelangt man, wie bei den meisten Gegenständen der physischen Geographie, auch bei dieser Methode nicht zu scharfen Sonderungen, weil die Formen ineinander übergehen und zuweilen zwei verschiedenartige Kraftäusserungen gleichwertig nebeneinander stehen. In letzter Linie lassen sich auch die äusseren Formen als Einteilungsgrund verwenden.

Man kann zunächst unter den Gebirgen ganz allgemein diejenigen, welche durch die Wirkung der Kräfte des Erdinnern ursprünglich als Gebirge gebildet worden sind, mögen sie nachträglich durch äussere Agentien noch so sehr umgestaltet worden sein, von denen unterscheiden, welche ursprünglich kein Gebirge, sondern Flachboden gewesen sind und erst durch die Einwirkung äusserer Agentien die Gebirgsnatur erhalten haben. Die letzteren lassen sich als Erosionsgebirge von allen anderen sondern. Nach dieser Abtrennung kann man bei den übrig bleibenden Gebirgen einen Unterschied nach dem mit der Entstehungsart unmittelbar zusammenhängenden Verhältnisse zur Unterlage erkennen. Es giebt Gebirge, welche auf einer Deformierung der Erdoberfläche selbst oder vielmehr der der Beobachtung zugänglichen Teile der Erdrinde beruhen, und andere, welche in ihrer ganzen Masse in unabhängiger Stellung auf einem relativ ältern Teile der Erdoberfläche als Berge oder Gebirge

unmittelbar aufgesetzt worden sind. Dies sind aufgesetzte oder parasitische Gebirge. In der geographischen Litteratur ist häufig von „aufgesetzten Gebirgen", besonders auf sogenannten „Hochebenen" oder „an deren Rändern", die Rede. Der Reisende sollte sich an eine präzisere Ausdrucksweise gewöhnen. Denn fast in allen jenen Fällen handelt es sich entweder um tektonische Gebirge, welche höher ansteigen als benachbarte Flachländer, aber nur aufragende und nicht aufgesetzte Teile eines grössern Gebirgsganzen sind, oder um den randlich aufgewölbten Teil eines Tafellandes. Wirklich aufgesetzte Berge bilden die Vulkane, dann die an der Oberfläche aufgetürmten Massen von Eruptivgesteinen, besonders von jüngeren, ferner die Korallenriffe, die Dünen und das hügelige Gletscherschuttland. Alle solche Berge sind parasitisch, insofern sie zur Zusammensetzung der Unterlage gar keine und zu der innern Struktur derselben nur teilweise, und auch dann nur eine entfernte und mittelbare Beziehung haben; eine solche besteht noch am meisten bei den Eruptivgesteinen und den Vulkanen, beschränkt sich aber auch bei ihnen auf den genetischen Zusammenhang mit Brüchen, welche in ihrem allgemeinen Verlaufe durch einen grössern Teil der Erdrinde auch die unmittelbare Unterlage durchsetzen. Ueberall sind sie fremdartige Eindringlinge, welche wohl ein Ornament des Bauwerkes bilden, aber nicht notwendig in die Architektur hineingehören. Auch den andern genannten Arten von Gebirgen ist die parasitische Natur eigen. Indessen ist es klar, dass diese nur eine Eigenschaft ist, die zwar mit der Entstehungsart zusammenhängt, aber das Ergebnis verschiedenartiger genetischer Vorgänge sein kann. Sie ist daher als ein Einteilungsgrund erster Ordnung nur dann zu verwenden, wenn diese Vorgänge gleichzeitig berücksichtigt werden. Wir unterscheiden als zwei verschiedene Ordnungen: die Ausbruchs- oder Ejektionsgebirge und die Aufschüttungsgebirge oder vielleicht richtiger die aufgeschütteten Berge.

Auch nach der Lostrennung der Erosions- und parasitischen Gebirge bleiben noch die meisten Gebirge der Erde, darunter die mächtigsten derselben, übrig. Zweierlei Entstehungsursachen liegen ihnen zu Grunde, nämlich teils Bruch und Absenkung, teils Faltung und Unterschiebung: zwei (nach der Darstellung in § 256) in ihrem Mechanismus einander entgegengesetzte Arten von Vorgängen, die aber häufig, wie zur Ergänzung und Ausgleichung, aneinander gebunden sind. Alle dadurch entstandenen,

auf Deformierung von Erdrindenteilen beruhenden Gebirge können als tektonische Gebirge zusammengefasst werden. Aber es erscheint zweckmässig, den Begriff auf diejenigen Fälle zu beschränken, wo die äussere Plastik eine unmittelbare, wenn auch oft durch erosive Vorgänge noch so sehr verwischte Folge der tektonischen Vorgänge ist, und in dieser Beschränkung die Namen Bruch- oder Schollengebirge und Faltungsgebirge anzuwenden, dagegen in eine besondere Kategorie die grosse Zahl derjenigen Fälle zusammenzufassen, wo die äussere Plastik in erster Linie durch Abrasion und Skulptur verursacht wird. Dies sind die Abrasionsgebirge oder Rumpfgebirge.

Anscheinend sind die Flachboden allen Gebirgen gegenüber zu setzen, nicht nur wegen der Verschiedenheit der Gestalt, sondern auch insofern die Flachboden im grossen und ganzen aus der Ablagerung der Zerstörungsprodukte der Gebirge hervorgehen. Ein vollkommener Gegensatz zu ihnen besteht aber nur betreffs der tektonischen und des grössern Teils der parasitischen Gebirge. Weiter geht er nicht. Die Abrasionsgebirge erscheinen zum Teile in völliger Verflachung, und die eruptiven Basalte breiten sich in ebenen Tafeln aus, welche theoretisch als parasitisch aufgesetzte und völlig abgeflachte Berge bezeichnet werden müssten. Andererseits nehmen die Flachboden durch Erosion einen unebenen Charakter an. Durch weitern Fortgang entsteht das Erosionsgebirge, welches somit nur eine Abart der Flachboden ist.

Im folgenden soll auf die einzelnen der genannten Kategorien näher eingegangen werden.

1) Tektonische Gebirge.

§ 275. Weitaus die Mehrzahl derjenigen Gebirge, welche die grossen Züge der kontinentalen Plastik bestimmen, verdankt ihre Entstehung tektonischen Vorgängen, d. h. Bewegungen in der Erdrinde, welche eine Deformierung der Oberfläche hervorbringen, und zwar einerseits dem Absinken eines Flügels entlang einer Bruchfläche, andererseits der Faltung, Ueberschiebung und faltigen Ueberwallung. Insofern die äussere Gestalt primär durch diese Vorgänge bestimmt wird, können zwei Kategorien unterschieden werden.

a. Bruchgebirge oder Schollengebirge.

Ein mit Absenkung verbundener Bruch zerlegt eine Platte oder Tafel in zwei Schollen. Diejenige der letzteren, welche

die höhere Lage einnimmt, kehrt der andern die Schollenbruchseite zu, welche in der Regel steil ist. Die Höhenlinie dieses Abfalles ist die Schollenkante; an sie lehnt sich nach der entgegengesetzten Seite die Schollenfläche, welche entweder horizontal oder (und zwar wohl stets von der Kante hinweg) geneigt ist und in letzterm Falle entweder eine schiefe Ebene bildet oder konkav ist. Man kann diejenige mit horizontaler Fläche eine Plattscholle, die mit geneigter ebener Fläche eine Keilscholle, die mit geneigter konkaver Fläche eine Hohlscholle nennen. Alle diese Formen finden sich bei ganz verschiedenem innern Baue. Die Schollenkante ist eine imaginäre, stets durch äussere Agentien längst zerstörte Linie. An ihre Stelle tritt in Wirklichkeit der Schollenkamm oder die Schollenfirst, welche die aktuelle Linie höchster Erhebung bezeichnet. Die Haupteinteilung der Schollengebirge dürfte darauf zu gründen sein, ob ein Abbruch oder ein System von Abbrüchen dasselbe nur an einer Seite oder an zwei einander entgegengesetzten Seiten begrenzt. Wir unterscheiden danach 1) einseitige Schollengebirge und 2) Horstgebirge.

1) Einseitige Schollengebirge oder Schollenrandgebirge. Diese haben die Eigentümlichkeit, dass sie, nur von der Bruchseite gesehen, Gebirgscharakter darbieten, von der Flächenseite hingegen entweder einen solchen überhaupt nicht erkennen lassen oder als eine sanft ansteigende Bodenschwelle von geringer relativer Höhe über dem Standpunkte des Beobachters erscheinen. Letzteres ist der häufigere Fall, da Keilschollen und Hohlschollen weit öfter vorkommen als Plattschollen. Die Schollenfirst hat meist in ihrer Gesamtheit einen ziemlich ebenmässigen Verlauf, kann aber durch tiefe Einschartung eine reiche Einzelgliederung und selbst einen wilden Charakter erhalten. Sie bildet nicht immer eine Hauptwasserscheide. Die fliessenden Gewässer haben auf der Bruchseite ein steiles Gefälle, und wenn auch jede Wasserader ein verhältnismässig kleines Sammelbecken besitzt, so ist doch häufig Gelegenheit zu starker rückschreitender Erosion vorhanden, besonders dann, wenn die Steilseite Seewinden ausgesetzt ist, welche an ihr die Feuchtigkeit verdichten können, und wenn die Gesteine leicht zerstörbar sind. Infolgedessen durchbrechen einzelne Wasserfurchen die Firstlinie und erreichen die oberen Randgebiete der Schollenfläche jenseits der First. Die Gewässer auf dieser haben sanftes Gefälle nach der ent-

gegengesetzten Seite, und trotz der oft sehr ausgedehnten Sammelbecken vermögen sie sich nur langsam von ihrem Unterlaufe aus in die Gesteine einzugraben. Es geschieht daher leicht, dass ihre Quellgebiete allmählich von einzelnen Gewässern der Bruchseite erobert werden. Diese graben sich oft so steilwandige und tiefe Kanäle, dass der Aufstieg nach der Staffel in ihnen unmöglich ist und auf den zwischen je zweien derselben sich von der First herabziehenden Graten geschehen muss. Es kommt auch, wiewohl selten, vor, dass ein grosser Strom, wie der Colorado, das Tafelland in seiner ganzen Ausdehnung durchströmt und das Bruchrandgebirge durchbricht. Eine solche Stromrinne ist entschieden der ursprüngliche Abfluss und hat nicht die dargestellte Entstehung durch kleine und räumlich enger begrenzte Vorgänge.

Selten ist an dem Rande eines Tafellandes eine einfache Absenkung vorhanden. Weit häufiger findet sich die Form der einseitigen Staffelbruchgebirge, bei denen jede Staffel in gleichem Sinne den Steilabbruch nach derselben Seite zu kehren und gegen denselben hin aufgebogen zu sein pflegt. Die Lagerungsverhältnisse können durch Schichtenschleppung manche Komplikation erfahren. Jede Staffel hat ihr besonderes System von Abzugskanälen für das Wasser. Da aber auch bei jeder die vorher für den Einzelfall angeführten Gesetze gelten, so kann die rückschreitende Erosion von dem Fusse des letzten Aussenabfalles aus nach und nach die ganze Reihe der Staffeln durchschneiden, sodass die meist vielfach gekrümmten Abflusskanäle rechtsinnig zum allgemeinen Abfalle, aber widersinnig zur Aufbiegung der Schichten in jeder Staffel gerichtet sind. Seebildungen sind nicht selten vorhanden, noch häufiger die Sedimentausfüllungen ehemaliger Seen. Einige Beispiele von gebirgsbildenden Staffelbrüchen wurden oben (§ 257) angeführt. Es giebt wahrscheinlich manche Fälle, bei denen das Durchgreifen der Wasserscheide seine Ursache in dem Bestehen von Querspalten hat, welche vom Wasser benutzt werden konnten. Bei dem östlichen Wasserabflusse von Arkadien zum Beispiele, welcher jetzt seinen Weg durch Klüfte im Kalksteine nimmt, lässt es sich als sicher annehmen, dass im Laufe der Zeit die verborgenen Kanäle eine Umgestaltung in offene Abzugsfurchen erfahren werden. Dieser Vorgang mag sich bei vielen aus Kalkstein bestehenden Staffelgebirgen bereits vollzogen haben.

Die Einteilung der Schollenrandgebirge nach der Gestalt des Querschnittes wie nach der Einheit oder Vielheit des Bruches gründet sich auf äussere Merkmale, welche jedoch mit der Gebirgsbildung in unmittelbarem Zusammenhange stehen. Einen andern Gesichtspunkt ergiebt die innere Zusammensetzung. Es sollen hier nur die drei Fälle genannt werden, denen der Reisende am häufigsten begegnet, nämlich:

1) die Tafelscholle, d. h. eine aus Tafelland herausgebrochene Scholle, an deren Bruchseite man nur die flachgelagerten Schichten des erstern erkennt;

2) die Abrasionsscholle, welche einen Teil eines abradierten Gebirges bildet;

3) die Transgressionsscholle, in welcher die Bruchseite das abradierte Grundgebirge entblösst, während die Schollenfläche aus transgredierenden Gebilden besteht.

Jede von diesen kann die Formen des einfachen und des Staffelbruches und die drei oben genannten Gestalten des Querschnittes bieten.

Ein staffelförmiges Tafelschollengebirge mit Hohlform der einzelnen Schollen bildet der hochgebirgige Ostrand des Tafellandes von Nordchina gegen die Grosse Ebene, wie er in der Provinz Schansi in schönen Durchschnitten entblösst ist. Hier hatte die rückschreitende Erosion eine Reihe der Staffeln zu überwinden. — Ein Beispiel einer keilförmigen Tafelscholle ist der schwäbisch-fränkische Jura. Hier ist die First sehr weit von der ehemaligen Kante aus zurückgeschritten; die Erosionskanäle aber haben sich bis jenseits der Firstlinie eingegraben; die Bruchseite haben sie nach dem Härtewechsel der Schichten in leistenförmige Parallelrücken zerlegt, in deren jedem der keilförmige Querschnitt sich wiederholt.

Ein Gerüst radial angeordneter einfacher Transgressionsschollen, und zwar von Keilform mit hochragender First, bilden die Urgneisgebirge des westlichen Teiles der Provinz Schantung in China mit ihren aufgelagerten kambrischen und karbonischen Schichten, welche sich von jeder First sanft hinabziehen. Die Erosion hat wegen der Festigkeit des Gesteines die Bruchseite wenig anzugreifen vermocht. Selten ist die Keilform mit grösserer Entschiedenheit ausgesprochen. Analoge Gebilde sind der Schwarzwald und die Vogesen. Auch der Balkan dürfte hierher zu rechnen sein, während der Mons

porphyrites im Westen des Roten Meeres das entsprechende Bild einer in horizontales Tafelland übergehenden Hohlscholle mit Transgression (nach Schweinfurths Profilen) gewährt.

Als eine Abrasionsscholle von keilförmiger Gestalt dürfte das Erzgebirge zu betrachten sein; selbst das gesamte skandinavische Gebirge stellt diesen Typus dar. Doch können beide auch den Rumpfgebirgen zugerechnet werden.

Alles dies sind Schollenrandgebirge, insofern die First der Seite des Abbruches zunächst gelegen ist, und der Gebirgscharakter entweder ausschliesslich oder vorwaltend bei dem Anblicke von dieser aus hervortritt.

2) Eine besondere Form, auf welche weiterhin zu achten ist, ist das Flexurgebirge. Der Begriff der Flexur, welche, wenn sie schief nach abwärts gerichtet ist, auf Streckung deutet, ist oben (§ 257) erklärt worden. Der gewaltige Zug des Nankóugebirges im Norden von Peking ist eine einzige grosse Flexur, welche vor der karbonischen Epoche gebildet war. Ein Flügel der sehr mächtigen kambrischen Schichten zieht unter schiefem Winkel tief hinab, teils unter die Ebene von Peking, teils unter ein angelagertes weites Gebirgsland, welches grösstenteils aus karbonischen Schichtmassen aufgebaut ist. Der andere Flügel bleibt auf der Höhe jenseits und zerfällt durch Staffelbruch in eine Anzahl hoher, nach Südost steil abfallender Schollengebirge. Die innerste Staffel, in welcher die Gneisunterlage erscheint, bildet den Rand der Hochfläche der Mongolei. Nur Süsswassergebilde (Jura) sind den Vertiefungen der gigantischen gebrochenen Scholle eingelagert. Wie jede Staffel hoch ansteigt, so auch, und zwar am höchsten, diejenige, an welcher die Flexur stattfindet. Hier haben sich gewaltige Injektionen und Ejektionen zum Teile granitischer, meist aber porphyrischer Gesteine ereignet, welche durch den Kontaktmetamorphismus (§ 228), den sie in den kambrischen Schichtgesteinen hervorgerufen haben, zu beweisen scheinen, dass sie wenigstens zum Teile mit den Erdrindenbewegungen, welche die grossen Brüche veranlassten, im Zusammenhange stehen. Doch haben sich diese Bewegungen bis in späte Zeit fortgesetzt und sind noch zweimal, in der Jura-Epoche und im Zeitalter des Tertiär, mit dem Hervordringen von Eruptivgesteinen verbunden gewesen. Dies ist wohl das einzige bekannte grosse Flexurgebirge. Solche von kleinerm Massstabe dürften häufiger anzutreffen sein.

3) Hat das Absinken nach zwei entgegengesetzten Seiten stattgefunden, sodass ein mittlerer Teil stehen blieb, so bildet dieser ein Horstgebirge. Die Bedeutung der hierher gehörigen Abteilung von Gebirgen beginnt mehr und mehr erkannt zu werden. Es hat sich an diesem Beispiele erwiesen, wie wichtig oft die Einführung eines Namens für eine Erscheinung, die man früher zwar kannte, aber nur umständlich im einzelnen Falle zu beschreiben vermochte, sein kann. Es lassen sich, seitdem Suess die bergmännische Bezeichnung „Horst" auf Erscheinungen des Gebirgsbaues übertragen hat, alle entsprechenden Fälle in eine Kategorie vereinigen, und man hat bereits angefangen, ihnen in weit höherm Grade nachzuspüren als dies früher der Fall gewesen ist. Einzelne besondere Typen beginnen sich herauszuheben. So die Tafellandhorste, von denen das Gebirge von Palästina, im Gegensatze zu dem benachbarten Tafellandgraben des Jordanthales und des Toten Meeres, ein Beispiel giebt. In den Faltungsgebirgen ragen Kernteile zuweilen horstartig auf; man könnte sie Kernhorste nennen. Als ein solcher, der durch zwei Längsbrüche begrenzt wird, ist die Cima d'Asta durch Suess erwiesen worden. Am wichtigsten und bedeutendsten aber sind die Horste in den Rumpfgebirgen. Diese Rumpfhorste werden unten (§ 279) erwähnt werden.

Andere Typen lassen sich nach dem Gesichtspunkte der Stellung der Verwerfungsflächen zu der Streichrichtung des innern Baues unterscheiden. Als ein charakteristischer Typus treten die Diagonalhorste hervor. Sie bestehen aus einem Gebirgsstücke, welches durch zwei Bruchflächen in schiefem Winkel zur innern Streichrichtung aus einem vormalig in letzterer ausgedehnt gewesenen Gebirge herausgeschnitten ist. Die neueren Forschungen haben diesen Typus mehrfach in Attika erwiesen, und die Insel Euböa giebt durch ihre bedeutende Längenerstreckung bei geringer Breite das am meisten charakteristische Beispiel. Die grosse Insel Kiuschiu in Japan ist im wesentlichen ein Diagonalhorst, herausgeschnitten aus dem regionalen Faltungsgebirge, welches aus dem südlichen China dort hinüberzieht. Japan zählt mehr derartige Beispiele, und in China scheint hierher das ausgedehnte Gebirge des Ta-pa-schan zu gehören. Als Querhorste sind analoge Gebirgsstücke zu bezeichnen, welche ungefähr unter rechtem Winkel zur Streichrichtung durch Bruchflächen abgetrennt und, infolge von Absenkung an ihnen, als Reste stehen geblieben sind. Hierher

dürfte das asturisch-kantabrische Gebirge nach der Darstellung von Barrois gehören. Als die naturgemässeste Form erscheinen die Längshorste, bei denen das Streichen der begrenzenden Bruchflächen demjenigen, welches die innere Struktur beherrscht, parallel ist.

Die alten Schollenteile der Erdoberfläche, gleichviel ob von Sedimenten überlagert oder ob frei davon, neigen in besonderer Weise zu Bruchbildungen und Absenkungen, wenn auch in regional sehr verschiedenem Grade. Wo dieselben häufig sind, werden Horste eine typische Erscheinung sein. Ihr Nachweis durch geologische Beobachtung wird stets als ein wesentlicher Beitrag zum Verständnisse eines Erdraumes betrachtet werden können. Doch sollte man sich davor hüten, die neu eingeführte Benennung voreilig und ohne hinreichende Begründung anzuwenden.

b. Faltungsgebirge.

§ 276. Die meisten grossen Gebirge und Gebirgsländer der Erde haben bei aller äussern Verschiedenheit ein gemeinsames Merkmal, welches in einer durch Schichtenfaltung bedingten innern Struktur besteht. Der Vorgang der Faltung und der mit ihrer extremen Ausbildung gewöhnlich verbundenen Ueberschiebung ist, wie in § 259 erörtert wurde, das Symptom eines seitlichen Zusammenschiebens der oberen Rindenteile eines Erdraumes auf einen in der Richtung der Bewegung verkleinerten Raum vermöge eines ungefähr in der Tangente der Erdkrümmung wirkenden Druckes. Die Fortführung der Beobachtung auf die weiteren Umgebungen hat in einer Reihe von solchen Fällen, wo der Vorgang sich in jugendlicher Zeit ereignet hat (wie bei Alpen und Himalaya), die Schlussfolgerung gerechtfertigt, dass die bewegten Teile gegen einen von demselben Faltungsprozesse nicht mit betroffenen, sich scheinbar starr verhaltenden Teile der Erdrinde gestaut worden sind und, da die Faltung mit Emporwölbung verbunden ist, die randlichen Gebiete der festen Scholle überwallen konnten. Es scheint sogar, dass, wenn diese Ueberwallung in bedeutendem Masse stattfand, die hohe Belastung den starren Rindenteil niederzudrücken vermochte. — Hiervon dürften andere Fälle zu unterscheiden sein, in welchen ein starrer Rindenteil gegen einen nachgiebigen gepresst, vielleicht auch nach dem Schema von Fig. 90 (S. 589) aufgeschoben wurde, wobei dann in dem nachgiebigen eine Reihe von Faltungen,

deren Intensität an der Berührungsfläche am stärksten ist und von dort aus bis zum völligen Verschwinden abnimmt, hervorgebracht wurde. Zu dieser Annahme leiten Erscheinungen, wie sie der nördliche Harzrand darbietet.

Alle Gebirge, deren Gebirgsnatur und Gliederung auf dem aktiven Vorgange der Faltenbildung beruhen, oder doch darin ihre nächstliegende primäre Veranlassung haben, stehen den durch Absenkung entstandenen als eine grosse Klasse gegenüber, da die letzteren, wie bemerkt, auf Streckung und Raumerweiterung deuten. Sie können jedoch ihren Charakter vollständig verlieren, wenn sie nach gänzlichem Erlöschen der auf faltiges Zusammenschieben gerichteten Vorgänge ihrer äussern Gestalt und Gliederung entkleidet werden. Sie werden dann selbst zu starren und, wie es scheint, besonders verfestigten Schollen der Erdrinde, welche weiterhin manche passive Umgestaltung erleiden können. In dieser Form, als ein reines Element innerer Struktur von Erdrindenteilen, ist die Schichtenfaltung weit über die hier zu besprechenden Faltungsgebirge hinaus verbreitet; wir werfen zuerst auf diese auszuscheidenden Bildungen einen vorläufigen Blick, um das, was der gegenwärtigen Kategorie zufällt, schärfer zu sondern.

Es gehören dahin diejenigen Gebiete, wo Gneis und Gneisgranit das Grundgebirge zusammensetzen. Sieht man von den ältesten Gneisen ab, bei welchen, wie auf S. 505 angedeutet wurde, die steile Schichtenstellung vielleicht nicht auf Zusammenfaltung ehemals gestreckt gewesener Gebilde beruht, so besteht die Unterlage horizontaler oder schwachgeneigter Ablagerungen, gleichviel welchen Alters dieselben seien, fast überall, soweit die Beobachtung reicht, aus aufgerichteten und wirklich gefalteten Schichtgebilden, welche entweder archaischen Alters, oder durch Metamorphismus aus Sedimenten verschiedener minder hoch hinaufreichender Epochen hervorgegangen sind, oder auch geringere Umwandlung erfahren haben. In der Regel werden die Faltungen von einer Abrasionsfläche durchzogen, auf welcher die relativ jüngeren Sedimente auflagern. Vor der Abrasion erhob sich offenbar an derselben Stelle ein auch in seiner äussern Gestalt durch Faltung charakterisiertes Gebirge, aber dasselbe ist verschwunden; wir haben es nicht mehr mit einem eigentlichen Faltungsgebirge zu thun, sondern mit einer verhüllten Abrasionsplatte. Nur die innere Struktur des erstern ist geblieben. Sind auch solche

Gebilde verdeckt, so ist doch ihre Bedeutung für den Gebirgsbau sehr gross, und die Lagerungsformen der von dem Fussgestelle getragenen Massen können ohne die Kenntnis der Struktur des letztern nicht verstanden werden. Die vernichteten Merkmale der äussern Gestalt sind auch dort nicht wiederhergestellt worden, wo ein solches Gebiet in grösserer Höhe über dem Meere gelegen ist und die fliessenden Gewässer tiefe Furchen durch die überlagernden Schichten hindurch in die Unterlage hineingeschnitten haben, selbst nicht in dem Falle, wenn die Erosion die Bedeckung hinweggenommen und die Oberfläche der Abrasionsscholle blossgelegt hat.

Man findet andere Gebiete, wo breites und zuweilen hohes Gebirgsland aus intensiv gefalteten und dadurch steil aufgerichteten Schichten zusammengesetzt ist, ohne wie im vorigen Falle durch andere Sedimente überlagert zu sein, wo aber die Oberfläche denselben glatt abgeschliffenen Charakter hat, wie dort die Fläche, auf welcher die jüngeren Schichtgebilde liegen. Auch in diesem Falle hat das Gebirge einst weit über die glatte Oberfläche hinaus aufgeragt, aber nach dem Erlöschen der faltenden Kräfte sind die aufragenden Teile, und zwar gerade diejenigen, in welchen sich ehemals die innere Faltung als primär veranlassende Ursache in der äussern Plastik widerspiegelte, durch die Abrasion hinweggenommen worden. Solche Gebirge sind Torsos vormaliger gewaltiger Massen. Wir werden sie als Rumpfgebirge kennen lernen. Skulpturthäler sind die Grundform ihrer Aushöhlungen. Ausserdem können Hohlformen durch Absenkung entstanden sein.

Im Gegensatze zu diesen hinsichtlich ihrer inneren Struktur grösstenteils gefalteten Abrasionsplatten und Abrasions- oder Rumpfgebirgen erscheint es zweckmässig, den Begriff der eigentlichen Faltungsgebirge auf diejenigen Gebirge zu beschränken, welche der Faltung nicht allein die innere Struktur, sondern auch die äussere Gestalt verdanken, und in welchen infolgedessen das tektonische Längsthal das äusserlich bestimmende Prinzip ist.

Es giebt sehr verschiedene Typen von eigentlichen Faltungsgebirgen; und doch ist es schwierig, sie nach einem leitenden Prinzip in gewisse Kategorien zu teilen. Es fehlt dazu noch an einer hinreichenden Zahl genau aufgenommener Profildurchschnitte. Der Reisende sollte sich deren sorgfältige Anfertigung angelegen sein lassen, wo immer er bemerkt, dass der

Faltenbau den äussern Gebirgscharakter bestimmt. Es möge hier insbesondere auf den Unterschied der Homöomorphie und der Heteromorphie des Querschnittes hingewiesen werden. Obgleich nämlich der Querschnitt jedes Faltungsgebirges an seinen beiden Enden verschiedene tektonische Verhältnisse zeigt, so scheint es doch, dass dieser Unterschied in gewissen Fällen dem Grade nach, in anderen der Art nach besteht. Ersteres ist der Fall, wenn die Faltung von einem Ende des Querprofils zum andern das leitende Moment, aber von verschiedener Intensität ist. Ein Unterschied in der Art der tektonischen Verhältnisse findet statt, wenn sie an einem Ende des Querschnittes auf Zusammenschiebung, an dem andern auf Zerrung deuten. Es scheint, dass man nach diesem Gesichtspunkte zwei verschiedene Ordnungen von Faltungsgebirgen unterscheiden darf.

§ 277. 1) Homöomorphe Faltungsgebirge. Dies sind Gebirge, in deren ganzer Ausdehnung die Faltung als das herrschende und die äussere Plastik primär veranlassende tektonische Element erkennbar ist. Lange Faltungskämme, in denen alle Formen von Falten bis zur Schuppenstruktur vertreten sein können, walten in den aufragenden Teilen, Längsthäler unter den Hohlformen. Diese aber sind durch meistenteils kurze und schroffe Querfurchen miteinander verbunden. Durch die Kombination entsteht eine Vereinigung zu wechselständig-heterotypischen Thalsystemen (§ 273).

Es giebt einen zonalen und einen regionalen Typus homöomorpher Faltungsgebirge. Der ausgezeichnetste Vertreter des zonalen Typus ist der Jura, welcher durch die Runzelung eines Systems gleichartig gelagerter Schichten gebildet wird. Er nimmt eine sanft gekrümmte Zone paralleler, durch Längsthäler getrennter Faltungszüge ein. An demjenigen Ende des Querschnittes, welches zunächst dem innern begrenzenden Bogen liegt, ist die Zusammenschiebung intensiv gewesen; die Falten sind hoch und zahlreich. Von da aus vermindert sich deren Amplitüde allmählich gegen die äussere, konvexe Seite hin, bis die Falten in horizontal gelagertes, aus denselben Schichten bestehendes Tafelland übergehen. Im Osten reichen die Faltungen im Querprofile bis an die feste Scholle des Schwarzwaldes heran.

Die regionalen Faltungsgebirge des homöomorphen Typus oder die Rostgebirge zeichnen sich dadurch aus, dass die Oberflächenteile eines ausgedehnten Erdraumes nicht nur in grosser Längenerstreckung, sondern auch

in beträchtlicher Breite in parallele Falten gelegt sind. Dies ist der Fall in dem Gebirgslande, welches das ganze südöstliche China einnimmt. Man kann dort mehr als 100 deutsche Meilen quer gegen die Faltungsrichtung reisen und begegnet, abgesehen von einigen später gebildeten beckenartigen Versenkungen, immer nur der gleichen Erscheinung langgedehnter, geradgestreckter, paralleler Kämme von ähnlich bleibender Tektonik. Die Faltungszüge unterscheiden sich voneinander nicht wesentlich in Bau und Zusammensetzung, und obwohl einzelne von ihnen grösseres Ausmass haben als andere, so sind doch eigentliche Centralketten oder Kernzüge in dem Sinne, wie sie bei den Alpen und dem Himalaya vorkommen, nicht zu erkennen. Die Zusammenfaltung geschah schon vor dem Ende der paläozoischen Aera und war frühzeitig beendet. Da aber eine Abrasion nicht erfolgt ist, haben sich die tektonischen Längsthäler als primäre Hohlformen erhalten. Allerdings hat später eine ingredierende Ueberlagerung grosser Gebiete durch mächtige Süsswassersedimente stattgefunden; aber sie haben wesentlich, wie es scheint, zur Erhaltung der alten Formen beigetragen. Ihre Durchfurchung hat die Entstehung epigenetischer Skulpturthäler in dem früher (§ 81) dargestellten Sinne veranlasst. Auch haben sich nachträglich grosse Absenkungen und Ausbrüche porphyrischer Gesteine ereignet, aber die tektonischen Hohlformen sind als leitende Züge in der äussern Ausgestaltung nicht geschwunden. Sie haben besonders zu der sehr vollkommenen Ausbildung des Riastypus in den Küstenformen (§ 141) beigetragen.

2) Heteromorphe Faltungsgebirge. Die grossen bogenförmigen Kammgebirgszüge der Erde, welche, wie die Alpen, die Karpathen, die Apeninnen, der Himalaya und die das eranische Hochland im Südwesten umschliessenden Gebirge, dem jugendlichen Alter ihrer letzten formgebenden Bewegungen die Erhaltung der tektonischen Längsthäler als primärer Hohlformen verdanken, haben im Gegensatze zu den vorgenannten Gebirgen die Eigentümlichkeit gemeinsam, dass die von jedem von ihnen eingenommene Zone zwei voneinander morphographisch wesentlich verschiedene Seiten, eine konvexe oder äussere und eine konkave oder innere, darbietet. Dieser Unterschied der Gestalt beruht auf Rindenbewegungen von verschiedener und zum Teile entgegengesetzter Art. Ein Querdurchschnitt zeigt an der Vorderseite ein Drängen faltender Bewegungen § 278.

bis zu völliger und bedeutender Ueberwallung des Vorlandes. Die Rückseite ist gewöhnlich von jener durch hochaufragende Kernmassen getrennt. An ihr kommt Faltung noch als ein sekundärer, einzelne Bewegungen begleitender Vorgang vor; im ganzen aber tritt sie als gestaltendes Moment zurück gegen die den Charakter bestimmenden Erscheinungen grosser Brüche und Absenkungen. Die Gebirge haben hier vielfach die Gestalt mächtiger, gebrochener, gegeneinander verschobener und stellenweise gestauter, später äusserlich durch Erosion umgestalteter Tafeln. Auf der Vorderseite sind die Schichtgesteine auf einen Bruchteil des früher von ihnen eingenommenen Areals (der Breite nach) beschränkt; sie sind in Faltungen von wunderlichen Formen übereinander gewälzt, in Gestalt von Schuppen übereinander geschoben; das Aeltere lagert häufig über dem Jüngern und quillt am äussersten Saume gewissermassen über dieses hinweg. Die Erdrinde ist, offenbar infolge einer Pressung, verdickt und verdichtet. Auf der Rückseite hingegen ist ein lockeres Gefüge. Die Oberflächenteile der Erdrinde sind auf einen grössern Raum, als sie vorher einnahmen, auseinandergezerrt. Die Brüche, denen entlang die Absenkungen erfolgten, sind zum Teile der Streichrichtung der Kernmassen parallel, zum Teile stellen sie sich als Bogensegmente grosser Becken oder schüsselförmiger Versenkungen dar, zum Teile sind sie unter verschiedenen Winkeln quer zur Hauptrichtung gestellt. Wie bei der auf S. 591 beschriebenen, auf analoger Kraftäusserung beruhenden, aber zu einem verschiedenen tektonischen Resultate führenden Flexur, oder wie bei den grossen Grabenversenkungen, sind auch auf der Rückseite der heteromorphen Faltungsgebirge Injektion und Ejektion von Eruptivgesteinen häufig mit den grossen gestaltenden Vorgängen verbunden gewesen; ein Zeichen, dass die feste Erdrinde in ihrem ganzen Vertikalbetrage von diesen betroffen worden ist.

Die Ursachen der beiden verschiedenen, in ihren Wirkungen einander scheinbar aufhebenden Bewegungsarten sind nicht bekannt, und es wird vieler fortgesetzter Beobachtungen in Gebirgen dieser Art bedürfen, ehe es möglich sein wird, eine für verschiedene Fälle gültige Theorie aufzustellen. Man sollte besonders auf diejenigen Erscheinungen achten, welche das Emporwachsen der centralen Kernzüge zu ihrer das übrige Gebirge überragenden Höhe betreffen. Jedenfalls muss dasselbe

durch sehr lange Zeiträume, vielleicht mit vielfachen Unterbrechungen, fortgedauert haben. Infolge unausgesetzter stärkster Denudation in den am höchsten aufragenden Teilen wurden die Kernzüge während ihres Emporwachsens von den aufgelagerten Sedimentmassen entblösst, bis sie nur noch aus den nackten Kernmassen des kristallinischen, zum Teile aus paläozoischen Schichtgesteinen metamorphosierten Grundgebirges bestanden. In den französischen Westalpen glaubt man steile, dem Innern des Gebirges zufallende Längsbrüche zu erkennen, denen entlang Aufschiebungen (im Sinne von Fig. 90 S. 589) gegen die Vorderseite des Gebirges hin sich vollzogen, und zwar werden dieselben als staffelförmig in solcher Weise dargestellt, dass jede der Gebirgsachse nähere Staffel höher aufgeschoben ist, als die gegen die Vorderseite hin zunächst gelegene. Dieses von Lory gefundene Verhältnis scheint für die Erklärung des Mechanismus der gesamten Bewegungen sehr wichtig zu sein. Man könnte geneigt sein, ein Voran- und gleichzeitiges Aufwärtsschieben eines die Innenseite in sich begreifenden Hangendflügels auf einer unter diesen sich herabsenkenden Bruchfläche gegen den konvexen und gefalteten Gebirgsteil oder vielmehr gegen die demselben als Widerlager vorliegende und von ihm überwallte starre Scholle anzunehmen. Durch eine oder mehrere derartige schuppenartig angeordnete Aufschiebungen würde sich die Raumverminderung auf der einen, die mit Absenkungen verbundene Raumerweiterung auf der andern erklären lassen. Doch selbst wenn ein Mechanismus dieser oder ähnlicher Art erwiesen werden sollte, würde man von einer Erklärung der zu Grunde liegenden Kraft noch sehr weit entfernt sein.

Als ein allgemeiner und wichtiger Gesichtspunkt für die Geschichte solcher Gebirge kann es bezeichnet werden, das Zeitalter derjenigen Abrasion kennen zu lernen, welche den intensiver zusammengefalteten Grundbau zum letztenmal abgeschliffen und die Reihenfolge der nachträglichen Sedimentbildungen eingeleitet hat. Daher sind vereinzelte transgredierende Auflagerungen auf den Gesteinen der Kernzone ganz besonders zu beachten. Sie bezeichnen das Ende einer früheren, längst abgeschlossenen, vielleicht ganz unabhängigen Faltungsperiode und den Beginn einer Zeit ruhiger Ablagerung. Es ist charakteristisch für die grossen Faltungsgebirge, dass diejenigen Sedimentformationen, welche ausserhalb der Kernmassen den Hauptanteil an der Zusammensetzung haben,

ungewöhnlich grosse Mächtigkeit erreichen und in ihnen solche marine Ablagerungen herrschen, welche an dem Boden heutiger Meere die Region jenseits der Küstenzone gegen die grossen Tiefen des offenen Oceans zu bezeichnen pflegen, während die von den Faltungen überwallte starre Scholle häufig gleichaltrige Schichtgebilde von geringer Mächtigkeit und von dem Charakter der Ablagerungen der Litoralzonen (§ 189) trägt. Die Rückseite bewahrt in der Regel den Typus der mächtigeren Gebilde der erstern Art mit Vorherrschen von Kalksteinen; aber sie kommen an ihr häufig zu einem verhältnismässig frühen Abschluss und machen ingredierenden Ablagerungen Platz, welche die tieferen Teile ausfüllen und den Rand begleiten, während sich entlang der Vorderseite noch lange klastische Sedimente absetzten, welche successive in die äusseren Randzonen des Gebirges hineingefaltet wurden. So ist es die allerdings nicht ausnahmsfreie Regel bei den Alpen, Apenninen, Karpathen und Himalaya.

Von Wichtigkeit ist es, diejenigen Vorgänge aufzufinden, mit welchen die Geschichte der Bewegungen, die zu der Gebirgsbildung führten, eingeleitet wurden, insbesondere also zu beobachten, bis zu welchem Zeitpunkte die Verhältnisse zu beiden Seiten keine oder geringe Verschiedenheit boten und wann sich zuerst bedeutendere Unterschiede einstellten. Wahrscheinlich war mit der zunehmenden Entwicklung des Kernzuges eine wachsende Differenzierung beider Seiten des Gebirges verbunden. Man wird also zu untersuchen haben, durch welche Reihe geologischer Epochen nach der letzten nachweisbaren Transgression ein ungestörter Absatz von Sedimenten, wie er an der Gleichförmigkeit der Lagerung erkennbar ist, fortsetzte; in welchem Zeitalter auf der einen und der andern Seite, oder nur auf einer von ihnen, eine ungleichförmige Auflagerung beginnt; von welcher Art die dem Wechsel zu Grunde liegenden tektonischen Vorgänge waren; wie die fernere Entwicklung der Sedimentformationen ist; in welcher Art und zu welchen Zeitpunkten die eruptiven Gesteine eingreifen; bis zu welchem Zeitalter herab die Schichtgebilde eine Umwandlung im Kontakte mit denselben erfahren haben u. s. f.

Die Querschnitte heteromorpher Faltungsgebirge sind nach allen diesen Richtungen an verschiedenen Stellen ihrer Längserstreckung zu untersuchen. Denn der Bau erleidet im Fortstreichen bedeutende Aenderungen. Schuppenstruktur geht in

regelmässige Faltungszüge über: eine Falte verschwindet, und in ihrem Streichen, aber oft nicht in unmittelbarer Fortsetzung, erscheinen eine oder zwei andere Falten. Es kann auch der Bau des ganzen Gebirges Wandlungen unterliegen, insofern die Heteromorphie nachlässt und vielleicht in manchen Fällen völlig verschwindet. So lässt z. B. bei den geradgestreckten Ostalpen die Asymmetrie im Vergleiche zu westlicheren Teilen mehr und mehr nach. Die Faltungen bleiben zwar auch im Osten bedeutender auf derjenigen Seite, welche sich im Westen als die äussere deutlich kennzeichnet, aber sie sind gegen das östliche Ende hin auch auf der innern Seite vorhanden; zugleich haben die Absenkungen hier nur noch eine geringe, mit Gesteinsausbrüchen fast gar nicht mehr verbundene Rolle. Das geringe Aufsteigen der Kernzone giebt Zeugnis von einer weit geringern Konzentration der Bewegung. Der Bau nähert sich demjenigen der homöomorphen Faltungsregionen.

Sollte das schuppenartige Aufschieben auf schiefen Bruchflächen der Bildung der Faltungsgebirge ursächlich zu Grunde liegen, so dürfte man erwarten, dass ähnliche Erscheinungen vorkommen können, wie sie sich bei anderen Bruchflächen finden: z. B. ein Wechsel in Form einer Schraubenfläche, wodurch in einem Teile der letztern das Absenken oder das Aufschieben des entgegengesetzten Flügels stattfinden würde als in einem andern im Fortstreichen gelegenen Teile. Einem derartigen Verhältnisse entsprechen die von Suess mit grossem Scharfsinne am Kaukasus entdeckten Erscheinungen.

Andere Aenderungen im Fortstreichen können in Unterschieden in der Sedimentbildung bestehen. In den Alpen sind sie in der Richtung von West nach Ost in so hohem Grade erwiesen, dass es scheint, als ob die Entwicklung der einzelnen Teile eine vielfach verschiedene gewesen sei, ehe dieselben zu einem Gebirge vereinigt wurden. In höherm Masse scheinen sich der nordwestliche und der östliche Himalaya voneinander zu unterscheiden, worauf unter anderm ihre gänzlich verschiedene Thalanordnung hinweist. Man wird zu der Vermutung geführt, dass eine von dem grossen Bogenverlaufe beherrschte, aber erst später eingetretene tektonische Bewegung Teile, welche vorher ihre gesonderte Entwicklung gehabt hatten, miteinander zu einem einheitlichen Gebirge verband.

Diese wenigen Bemerkungen mögen genügen, um auf die hohe Bedeutung der Probleme hinzuweisen, welche sich bei

dem Studium der heteromorphen Faltungsgebirge der Erde darbieten. Wer Gelegenheit dazu hat, sollte seine Anschauungen in den Alpen schulen, wo Heim in der Schweiz und Suess in Oesterreich die ausgezeichneten Forschungen zahlreicher Geologen im Vereine mit ihren eigenen zur Zusammenstellung grossartiger, auf die Erklärung des Mechanismus der Gebirgsbildung hinzielender Gemälde verwendet haben. Wer es sich zur Aufgabe gemacht hat, dort einen Teil der nördlichen Faltungsgebiete und der südlichen Absenkungsregionen so eingehend zu studieren, dass ihm der Bau des einen und der anderen völlig klar vor Augen steht, der wird vorbereitet sein, ähnliche Verhältnisse in anderen Ländern zu untersuchen, und wer sich für eingehende Forschung in diesen rüstet, sollte dort erst seine Kräfte zu üben suchen. Zu den grossen bogenförmigen Faltungsgebirgen sind die Inselbogen von Ostasien zu rechnen. Aber wenn man sie mit den Alpen oder dem Dinarischen Bogen oder dem Himalaya vergleichen will, muss man sich bewusst sein, dass man es in der Hauptsache mit den zerrissenen und gelockerten rückwärtigen Teilen, zuweilen auch mit Teilen der Kernzüge zu thun hat, die gefalteten Aussenzonen aber grösstenteils in den Meerestiefen liegen. Von um so grösserm Interesse ist es, wenn man diese stellenweise auffinden kann, wie es z. B. betreffs der Faltungszonen des grössten aller Bogen, nämlich desjenigen, welcher die Inseln Java und Sumatra umfasst, auf dem Festlande im Westen des Irawaddythales der Fall ist.

2) Rumpfgebirge oder Abrasionsgebirge.

§ 279. Nach der auf S. 651 gegebenen Erklärung bezeichnen wir mit diesem Namen eine grosse Zahl von Gebirgen, welche ganz oder zum Teile die innere Struktur der Faltungsgebirge besitzen, d. h. aus aufgerichteten Schichtgebilden bestehen, aber die durch Faltung primär bedingten äusseren Formen, also vor allem die tektonischen Thäler und Faltungsrücken, durch Abrasion verloren haben. Sie zeichnen sich im allgemeinen durch flachgerundete Formen aus. Zuweilen neigt sich die Oberfläche nach allen Seiten gleichmässig herab, zuweilen findet nach einer oder nach zwei Seiten ein steilerer Abfall statt. Die räumliche Ausdehnung ist ausserordentlich verschieden; manche Rumpfgebirge haben ein sehr geringes Areal, andere nehmen grosse

Kontinentalgebiete ein; in einem Falle findet man sie als untergeordnete Glieder grösserer Gebirgsländer, in einem andern bestimmt der Typus weithin den orographischen Charakter selbständig. Hier sieht man eine flache ungegliederte Wölbung von allseitig nahezu gleichförmiger Ausdehnung, dort eine entschiedene Längserstreckung und zugleich eine Auflösung in parallele breite Rücken, die durch breite Hohlformen getrennt werden.

Fast alle Rumpfgebirge stellen nur die innersten Kerne vormaliger Faltungsgebirge dar. Kristallinische Schiefer, teils von archaischem Alter, teils durch Metamorphismus des Flözgebirges entstanden, nehmen in steiler Faltung den Hauptanteil an der Zusammensetzung. Die Flözgebirgszonen, welche ehemals vorhanden waren, konnten bei der Abrasion in völlig ebener Verflachung abgetragen werden; aber die gleiche Kraft vermochte nicht, den harten und zähen kristallinischen Kern in gleichem Masse zu bewältigen; daher liess sie ihn als mehr oder weniger flach ansteigende gerundete Wölbung bestehen.

Diese Wölbung, welche oft noch in grossen Strecken unverletzt erhalten ist, oft aber nur noch erkennbar ist, wenn man eine Fläche über die vorspringenden Teile legt, unterscheidet die Rumpfgebirge von den flach ausgebreiteten Abrasionsplatten: eine scharfe Grenze zwischen den beiden genetisch zusammengehörigen Kategorien ist jedoch nicht vorhanden. Eine völlige Identität kann zwischen Rumpfgebirgen und Abrasions-Schollengebirgen bestehen; denn manches unter den ersteren ist ein durch Bruch und Absenkung aus einer Abrasionsplatte herausgelöster, relativ erhobener Teil und besitzt alle Eigenschaften eines Horstes oder einer Keilscholle.

Die meisten Rumpfgebirge, nämlich diejenigen, welche keine ausgesprochene Längsachse haben, fallen unter den vielumfassenden herkömmlichen Begriff „Massengebirge“; diejenigen mit entschiedener Längsachse werden in der Regel den „Kettengebirgen“ zugerechnet.

Man ist früher der Ansicht gewesen, dass subaërische Denudation, vor allem die Kraft fliessender Gewässer, hinreichend sei, um die einfache Oberflächengestalt der Rumpfgebirge hervorzubringen. Aber es ist leicht ersichtlich, dass die Abrasion durch die fortschreitende Brandungswelle allein im stande gewesen ist, diejenigen Teile, welche früher frei und hoch aufragten, in einer gleichmässigen Fläche hinwegzuschleifen. Denn diese einfache

Grenzfläche steht im Widerspruche zu der Mannigfaltigkeit der innern Struktur; die subaërische Denudation aber würde bestrebt gewesen sein, diese in noch schärferer Weise, als es durch die tektonischen Vorgänge geschehen war, zum äussern Ausdruck kommen zu lassen. Theoretisch kann man allerdings die Folgerung ableiten, dass dieselbe bei sehr lange fortgesetzter Einwirkung ein gegliedertes Gebirge zu einer flachen Wölbung reduzieren würde; aber die von der Wölbungsfläche begrenzte Masse würde nur an den Stellen ehemaliger Rücken aus festem Gesteine, in den zwischengelegenen Teilen aus Detritusausfüllung bestehen, und das erstere würde von der Oberfläche aus tief hinab zersetzt sein. Bei Rumpfgebirgen ist die glatte Felsfläche kontinuierlich gewesen und tiefgehende Zersetzung ist nur zuweilen später hinzugetreten. — Ein zweites Argument besteht in dem schon genannten Umstande, dass die in derartige Gebirge eingesenkten Hohlformen nicht durch die Faltungen hervorgerufen, wenn auch durch dieselben sekundär beeinflusst worden sind. Herrschend sind die Skulpturthäler, und die primäre Hohlform der Rumpfgebirge ist, wie erwähnt, die durch Erosion allein geschaffene Querfurche. Abweichungen werden durch die häufige Einsenkung epigenetischer Erosionsfurchen veranlasst.

Es entspricht der Art der Entstehung und spätern Durchfurchung der Rumpfgebirge, dass abgeflachte und sanft gewölbte Formen in ihnen vorwalten. Es fehlen schroffe Gipfel; die Kämme bieten einfache Profillinien, da die Höhen von Gipfeln und Pässen wenig voneinander abweichen. Ausnahmen von dieser Regel bilden solche Stellen, wo die rückschreitende Erosion eine tiefe Einschartung durch den Kamm gegraben hat, oder wo infolge epigenetischer Thalbildung die Hauptwasserscheide in eine der Flanken zu liegen gekommen ist. Zuweilen findet man einen Kamm mit einfacher Profillinie von einzelnen grabenartigen Schartenpässen unterbrochen. In solchem Falle sollte man untersuchen, ob nicht der jetzige Kamm durch eine Längsabsenkung gebildet wurde, deren Bruchfläche die tief eingegrabenen Querthäler einer Flanke quer durchschnitt und deren obere Strecken mit dem ehemaligen Kamme nach einem tieferen Niveau versinken liess. Es lässt sich kaum ein anderer Vorgang denken, welcher Schartenpässe hervorzubringen vermocht hätte. Nicht selten findet es sich, dass ein Rumpfgebirge in seiner ganzen Breite von einem Strome quer durchbrochen wird. Dies kann auf epigenetischer Thalbildung be-

ruhen; doch können auch andere Vorgänge, z. B. die eben genannten Absenkungen, zu Grunde gelegen haben.

Ist auch bei Rumpfgebirgen die Querfurche die Grundform der Thalbildung, so gehen doch von jeder Querfurche zahlreiche Längsfurchen aus, welche im allgemeinen der Richtung des Schichtenstreichens folgen, aber häufig einen gewundenen Lauf haben. Jede von ihnen sendet wiederum Querfurchen aus. Aber schon die ersteren sind reine Skulpturformen, welche sich in der Richtung von unten nach oben bilden, dabei die Antiklinalen der Faltungen aufsuchen (s. S. 169) und wegen der schweren Arbeit in dem harten Gesteine oft in ihrer Entwicklung weit zurück sind. Folgt man den Längsfurchen aufwärts, so hat man in der Mehrzahl der Fälle bis auf die unverletzte oder wenig angegriffene Abrasionsfläche anzusteigen, um nach dem obern Ende derjenigen Längsfurche zu gelangen, welche am nächsten in der Verlängerung der ersten liegt; selten setzt sie deren Richtung unmittelbar fort. Es giebt eben nicht geradlinig fortstreichende Faltungsmulden, welche dem erodierenden Wasser die Wege anwiesen. Daher fehlt es an Thalwasserscheiden. Sind auch die Längsfurchen durch die Verlockung, welche sie an ihrem tief eingesenkten Boden zur Ansiedlung geben, nicht selten wichtige Lebensadern in Rumpfgebirgen, so stehen sie doch den breitsohligen grossen Längsthälern der eigentlichen Faltungsgebirge an Bedeutung wesentlich nach. Bei den meisten Gebirgen dieser Art ist überhaupt das Längsthal ganz untergeordnet. Doch kann es sich in grösserer Breite ausbilden, wo die Abrasionsfläche eine muldenförmige Einlagerung weicherer Gesteine durchschneidet und diese der Erosion unterlegen ist.

Die innere Struktur der Rumpfgebirge zeigt die Richtung, in welcher einst die faltige Stauung, Ueberschiebung und Ueberwallung geschehen war. Man kann daher auch bei ihnen eine innere und eine äussere oder eine Rückseite und eine Vorderseite unterscheiden. Die Beobachtung hat sich den aus dieser ersten Entstehungsphase stammenden Erscheinungen zuzuwenden. Oft ist deren Entzifferung eine schwierige Aufgabe. Sodann ist das Schicksal zu prüfen, welchem die Gebirgsmasse nach ihrer Abrasion unterworfen gewesen ist. Es kann sehr verschieden gewesen sein. In vielen Fällen fehlt es gänzlich an Merkzeichen, dass nach jener Zeit stauende Bewegungen noch stattgefunden haben. In anderen scheint es, dass die gefaltete Masse als starrer Gesamtkörper passiv geschoben wurde und die vor ihr lagernden

Sedimentgebilde bis zu denen eines gewissen Zeitalters herab in Falten zusammengestaut hat; dies dürfte kaum ohne eine Aufschiebung derselben Masse auf einer geneigten Bruchfläche geschehen sein. Wiederum in anderen Fällen ist, wie in § 278 angedeutet wurde, einer früh geschehenen Abrasion mächtige Sedimentbedeckung und in einer spätern Zeit gewaltige aktive Stauung gefolgt; der ganze Charakter wurde geändert, es entstanden die grossen bogenförmigen Faltungsgebirge der Jetztzeit. Achsenlinien und Richtung der Stauung mögen dann häufig andere als früher gewesen sein. — Abermals in anderen Fällen ist das zum zweitenmal und nach einer zuweilen die erste diagonal schneidenden Richtung gefaltete Gebirge durch eine zweite Abrasion abgeschliffen und in ein seitdem starr gebliebenes Rumpfgebirge verwandelt worden. In solchen Fällen erkennt man deutlich im innern Baue die Interferenz der beiden Faltungsrichtungen. Dieser doppelte Vorgang hat sich auf der chinesischen Halbinsel Schantung vor dem kambrischen Zeitalter vollzogen. Er ist für zwei spätere geologische Epochen in dem Baue des Harzes und des Fichtelgebirges nachgewiesen worden.

Das häufigste und allgemeinste Schicksal der Rumpfgebirge aber hat darin bestanden, dass sie als starre Massen von grossen Brüchen durchzogen wurden, und die dadurch getrennten Schollen Bewegungen entlang den Bruchflächen erfuhren. Wo immer man ein solches Verhältnis nachweisen kann, ist es eine wesentliche Aufgabe, zu untersuchen, ob die Bewegung in einer Aufschiebung oder in einer Absenkung (Fig. 89 und 90, S. 589) bestanden hat. Das erstere scheint verhältnismässig selten der Fall gewesen zu sein, während die Absenkung ausserordentlich häufig nachgewiesen worden ist. Man dürfte daraus folgern, dass in den von starren Schollen eingenommenen Gebieten Streckung sich innerhalb der äusseren Teile der Erdrinde in höherm Grade vollzieht als Stauung.

Die besonderen Formen, welche aus der Zerlegung eines abradierten Erdrindenteiles in Schollen und aus deren relativer Vertikalverschiebung hervorgehen, wurden in § 275 betrachtet. Es liegt hier einer der Fälle vor, wo die konsequente Anwendung systematischer Prinzipien auf Schwierigkeiten stösst. Ist auch die Bildung des Rumpfgebirges oder der Abrasionsplatte der primäre Vorgang, so ist doch häufig die Gebirgsnatur als Element der Plastik viel wesentlicher in der Verwerfung begründet.

Schollengebirge und Horstgebirge sind zuweilen nur besonders gestaltete Typen von Abrasionsgebirgen. Man wird bei der Bezeichnung durch Namen beiderlei zu Grunde liegende Vorgänge berücksichtigen müssen.

Es sollte besonders beobachtet werden, welches Verhältnis die grossen Brüche zu der innern Struktur haben; ob sie den Faltungen parallel oder quer gegen dieselben oder diagonal gerichtet sind, ob die Längsbrüche auf der Seite liegen, nach welcher die Faltungen überschoben sind, gegen welche hin also die Achsenebenen nach oben gerichtet sind und ob auf dieser Seite Aufschiebung oder Absenkung stattgefunden hat, oder ob die Längsbrüche an der Rückseite gelegen sind. Es scheint, dass dies der häufigere Fall und dass hier Absenkung die Regel ist. Zuweilen ist in nachfolgender Zeit eine glatte Abrasionsfläche durch die starkverworfenen Schollen gelegt und das Ganze durch spätere Absenkung abermals in Schollen geteilt worden, die gegeneinander verworfen wurden.

Hervorragende Rumpfgebirge in Europa sind: die skandinavischen Gebirge, das Bergland von Schottland, die westlichen Halbinseln von England und der Bretagne, das rheinische Schiefergebirge im weitesten Sinne, das Centralplateau von Frankreich, Vogesen und Schwarzwald, das bayrisch-böhmische Waldgebirge, das Fichtelgebirge, wahrscheinlich das Erzgebirge, die böhmisch-mährischen Höhen, die Sudeten, der Harz, das galizisch-kantabrisch-asturische Gebirge, das Rhodopegebirge und viele andere. Es gehören hierher die breiten Gebirgsanschwellungen von Guyana und Brasilien, der Kwenlun und wahrscheinlich der Altai. In manchem Gebirgslande, das aus den ältesten Formationen in steiler Schichtenstellung aufgebaut ist, erkennt der Reisende erstaunt bei dem Umblicke von einem Höhenpunkte, wie sämtliche Kämme und Gipfel in weiter Umgebung eine imaginäre Fläche berühren, die ebenmässig sanft ansteigt oder eine leichte Wölbung hat. Diese ursprüngliche Abrasionsfläche zeigt sich deutlich in den Gebirgen von Wales und ebenso in denen von Schantung und Liautung in China, in welchen seit Beginn der mesozoischen Aera Skulpturthäler allein eingeschnitten worden sind. An diesen Fällen hat sich, wie (§ 165) erwähnt, der Begriff der Abrasionsfläche in einer für jeden von ihnen unabhängigen Schlussfolgerung entwickelt.

Viele der genannten Rumpfgebirge tragen noch Ueberreste von transgredierenden Gebilden, welche sie einst in grösserm

Umfange bedeckten. Sie sind die Produkte der letzten Abrasionen. In den meisten Fällen ist es wahrscheinlich, dass der Abrasionsprozess sich mehrfach wiederholt hat, um die ausserordentlich grosse Abschleifung hervorzubringen. Doch lässt sich dies mit Sicherheit nur dann erweisen, wenn Reste ehemaliger Transgressionen sich vorfinden. Sie verdanken ihre Erhaltung an vereinzelten Stellen (wie dies in Fig. 75 auf S. 351 schematisch dargestellt ist) zuweilen Absenkungen, welche sich vor der letzten Abrasion ereigneten. Dies ist z. B. der Fall bei dem rheinischen Schiefergebirge. Hier fanden ehemals Ueberschiebungen am Nordrande statt. Es ist von hervorragenden belgischen Geologen berechnet worden, dass dort an der Stelle des jetzigen belgischen Flachlandes ein Gebirge von ungefähr 6000 m Höhe hinweggeschliffen worden ist. Dies ist die Vorderseite der Faltungen. Auf der Rückseite fanden zahllose kleine Verwerfungen und einige ausserordentlich bedeutende normale Absenkungen in der Streichrichtung der Faltungen statt, insbesondere eine entlang der Südseite des Hunsrück und eine zweite, welche auf beinahe 4000 m vertikaler Höhe berechnet worden ist, bei Saarbrücken, dessen Steinkohlenflöze dadurch erhalten worden sind. Die von Norden kommende Abrasionswelle hat alles, die härtesten wie die weichsten Gesteine beinahe vollkommen ebenmässig abgeschliffen. Hier deuten die klastischen Gesteine der Steinkohlenformation, des Rotliegenden und des Buntsandsteines auf eine Reihe von Abrasionen, welche der letzten, deren geologische Zeit sich nicht bestimmen lässt, vorangegangen sind. Die Vorgänge der Skulptur haben in dem ganzen grossen Gebiete von den Ardennen bis zum Taunus und der Pfalz ihre Arbeit erst in geringem Masse ausgeführt, daher die Fläche der letzten Abrasion noch in grossen Strecken beinahe unverletzt ist. Aehnliche Wiederholungen des gewaltigen Vorganges der Zerstörung durch das Meer lassen sich, mit nicht minder grossen, der letzten Abrasion vorangegangenen Absenkungen verbunden, im chinesischen Kwenlun nachweisen und dürften in vielen anderen Fällen zu beobachten sein.

Der Geolog hat oft bei dem Studium eines Gebirges den Wunsch, dasselbe in seinen innersten Teilen aufgeschlossen zu sehen. Die Abrasionsgebirge gewähren Gelegenheit dazu. Hier ist die Struktur häufig in Tiefen von mehreren Kilometern unter den ehemaligen Gebirgshöhen zu beobachten. Die Schwierig-

keiten des Studiums sind aber dadurch vermehrt. Die klassischen Untersuchungen am Harz, die sorgfältigen Beobachtungen in Skandinavien, in Nordschottland, im Erzgebirge und Fichtelgebirge haben gezeigt, wie ausserordentlich verwickelt der Bau dieser innersten Kerne ehemaliger Faltungsgebirge ist.

Rumpfgebirge bieten sich der Beobachtung des Reisenden in kleinem wie in grossem Massstabe häufig dar. Sie besitzen nicht die Mannigfaltigkeit und die Reize landschaftlichen Charakters, welche den Faltungsgebirgen eigen sind. Aber als Forschungsobjekte gewähren sie hohes und sehr vielfaches Interesse. Die Besonderheiten ihrer äusseren Formen: die einfachen Flächen der Gesamtwölbung, die wenig gebrochenen Linien der Umrisse, der Mangel hoher Gipfel und tiefer Pässe, das Vorherrschen der Querfurchen unter den Thalbildungen, die Verschiedenheit der Gehänge und des Vorlandes an beiden Längsseiten, überhaupt alle Züge der äussern Plastik, können erst aus dem Erfassen solcher Gebirge als Abrasionsüberreste und der Betrachtung der Umgestaltung eines dem Meere entstiegenen flachen Gewölbes verstanden werden. Man lernt an ihrer Oberfläche den innern Bau der Gebirgstiefen kennen, und sie bieten vorzügliche Gelegenheit zum Studium von Erosionserscheinungen. Wo immer tiefe und schroffe Erosionsfurchen in einem Gerüste von steilem Schichtenbaue ebene Flächen auf den Höhen zwischen sich lassen, wie dies in Skandinavien, im Altai und im rheinischen Schiefergebirge in gleicher Weise zur Geltung kommt, da hat man es mit einem Rumpfgebirge zu thun. Die Untersuchung kann zunächst darauf gerichtet werden, ob dasselbe früher mit transgredierenden Schichtmassen bedeckt gewesen und von ihnen entblösst worden ist. Man wird dies zum Teile an dem Vorhandensein epigenetischer Thäler und an der Lage der Wasserscheiden erkennen. Es können aber auch noch Ueberreste der Schichtmassen vorhanden sein, wovon z. B. die kühn aufstrebende Gipfelmasse des aus horizontal gelagertem Sandsteine bestehenden Roraima auf dem Gebirge von Guyana ein schönes Beispiel giebt. Es sollte sodann auf das Vorhandensein einzelner Ueberreste früherer Transgressionen geachtet werden. Die kleinste Spur, deren Alter durch Versteinerungen nachweisbar ist, kann zur Entdeckung einer wichtigen Phase in der Geschichte des Gebirges führen. Für Verwerfungserscheinungen bieten die Rumpfgebirge grösstenteils ein unbegrenztes Feld der Beobachtung. Dieselben gewinnen

an Interesse, wenn sie mit dem Vorhandensein von Eruptivgesteinen oder, wie auf dem französischen Centralplatean und Teilen des rheinischen Schiefergebirges, mit dem Vorkommen von Vulkanen verbunden sind.

3) Ausbruchsgebirge.

§ 280. Es ist in den Abschnitten über die älteren und jüngeren Ausbruchsgesteine von den Formen die Rede gewesen, welche die bis zur Erdoberfläche aufgestiegenen und hier emporgetürmten oder ausgebreiteten Massen annehmen. Die von ihnen gebildeten Berge sind sämtlich parasitisch in Beziehung auf die Tektonik des Erdrindenteiles, auf dem sie auftreten; sie waren einst aufgesetzt, wenn man das Verhältnis zu ihrer Unterlage in Betracht zieht. Dies gilt ebenso bezüglich ihrer gegenwärtigen Stellung in vollem Masse von den thätigen Vulkanen und von den meisten der ihnen vorangegangenen Ausbruchsmassen exogen erstarrter jungeruptiver Gesteine. Zum Teile jedoch wurden diese später von Schichtmassen umhüllt. Letzteres ist in noch höherm Masse bei den meisten Porphyren der ältern Zeit der Fall. Dann verlieren sie den Charakterzug, demjenigen Boden, welcher ringsherum die Oberfläche bildet, aufgesetzt zu sein, und bei vollkommener Schichtenbedeckung hören sie auf, ein Gebirge darzustellen. Durch Denudation kann dieses wieder hergestellt werden. Andererseits können solche Eruptivgesteine, welche endogen in grösseren Tiefen erstarrten, blossgelegt werden und, wie es bei den widerstandsfähigen Gabbros und Hypersthengesteinen oft vorkommt, vollkommen isolierte, kuppenförmige Berge bilden, welchen der parasitische Charakter nicht minder beiwohnt als den Vulkanen.

Ausbruchsgesteine treten in grossen Massen in solcher Weise auf, dass sie, wiewohl Fremdlinge, doch integrierende Teile anderer Gebirge sind. Dann wieder findet man sie mit einem hohen Grade von Selbständigkeit besondere Gebirge und isolierte Berge zusammensetzend. Sie können mit Bodenformen jeglicher Art verbunden sein und den verschiedensten Gesteinen aufsitzen. Vulkane, welche den Typus am vollkommensten darstellen, steigen über den Kämmen der Anden auf; sie bilden deren höchste Spitzen und erheben sich an ihrem Fusse. Anderwärts sind sie Tafelländern aufgesetzt oder steigen aus tiefem Meeresgrunde an. Man sollte diesen parasitischen Charakter beachten, wenn man ein Gebirge wie die peruanischen

Anden beschreibt. Höhe und Form des tektonischen Gebirges sind für sich getrennt zu behandeln. So auszeichnend die aufgesetzten Kegel für die Physiognomik der Landschaft, für die Vegetation, für die Schaffung von Kulturboden, für örtliche Differenzierung klimatischer Verhältnisse und für die Erhöhung der Zahlenwerte der Gipfelhöhen sind und so unzertrennlich sie sich mit dem Bilde von den Anden verbunden haben, kann man deren eigentlichen Bau und Kammverhältnisse doch nur verstehen, wenn man sich jene Schmarotzergebilde abgehoben denkt und als Berge eigener Art, die jenen Kammgebirgen aufsitzen, für sich betrachtet.

4) Aufschüttungsgebirge.

§ 281. Auf wenige Kategorien beschränken sich die Fälle, in welchen sich, abgesehen von den Ausbruchsgesteinen, Gebirge von aussen auf einen Teil der Erdoberfläche aufgesetzt finden. Sie sind oben genannt worden. Es sind die Korallenriffe mit ihren Schuttkegeln, welche als gebirgsbildender Faktor bereits (§ 185) besprochen worden sind; ferner die Dünen, welche über fremdartigen Boden hingetragen werden (§ 195); endlich der Gletscherschutt, welcher als ein parasitisches ursprüngliches Hügelland anderm Boden jeglicher Art aufsitzt (§ 106). Man könnte auch noch die grossen Gletschermassen als aufgesetzte Eisgebirge bezeichnen.

5) Flachboden.

§ 282. Es empfiehlt sich aus Zweckmässigkeitsrücksichten, welche an gegenwärtiger Stelle leitend sein müssen, die verschiedenen Arten von Flachboden als ein Formelement zusammenzufassen, obwohl dies mit Rücksicht auf die äussere Gestalt geschieht. Wollte man den Gesichtspunkt der Entstehungsart auch hier walten lassen, so würden nur die durch Schwemmprozesse entstandenen Flachländer den Gebirgskategorien gegenüber zu setzen sein. Einzelne Typen der Flachboden, wie die Abrasionsplatten und die Uebergusstafelländer, sind nur abgeflachte Gebirgsbildungen, und die äolische Schuttbildung steht in engster genetischer Beziehung zu den Dünen; die dadurch geschaffenen Schuttebenen können als flache Staubdünen bezeichnet werden. So sind alle bisher genannten Kategorien von Gebirgen, mit Ausnahme der tektonischen, unter den Typen der Flachboden vertreten.

a. Abrasionsplatten. — Solche Abrasionsplatten, welche nicht die gewölbte Gestalt der Rumpfgebirge haben, sondern eben ausgebreitet sind, findet man selten ohne Bedeckung durch transgredierende Sedimente. Das bemerkenswerteste Beispiel eines Mangels der letzteren bietet die Ebene, in welcher der aus kristallinischen und granitischen Gesteinen zusammengesetzte Grundbau Südrusslands abgeschliffen ist. Seine innere Struktur lässt darauf schliessen, dass an derselben Stelle einst die Kernmassen eines mächtigen Faltungsgebirges aufstiegen. Die abradierende Welle, die dasselbe wahrscheinlich zu wiederholten Malen, jedesmal in tieferm Niveau, in Angriff nahm, vermochte allein diese Endwirkung hervorzubringen. Nur graduell verschieden hiervon sind die Oberflächen des rheinischen Schiefergebirges und des französischen Centralplateaus, welche wir ihrer Höhenlage wegen zu den Rumpfgebirgen rechneten. Es besteht eben, wie bereits bemerkt, zwischen diesen und den durch Abrasion gebildeten Flachboden nur ein Unterschied in der äussern Form.

b. Marines Flachland. — Hierunter verstehen wir das durch Trockenlegung des Meeresbodens gebildete Flachland. Es gehören dazu die meisten der weiten Tieflandstrecken der Erde, wenn man sie in ihrer Gesamtheit betrachtet; denn es scheint unter ihnen wenige zu geben, welche nicht vormals vom Meere bedeckt gewesen sind und ihm den Grundzug ihrer Gestaltung, die ausserordentlich flache Abdachung, verdanken. Im einzelnen findet sich viel fluviatiler und äolischer Aufschüttungsboden darüber ausgebreitet, während andere Teile zu Erosionshügelland umgestaltet sind. In einem dem ursprünglichen noch jetzt sehr genäherten Zustande befindet sich das Flachland der aralo-kaspischen Niederung.

c. Schichtungstafelland. — Wenige Ausdrücke in der physischen Geographie werden so ungenau angewendet, wie die als synonym gebrauchten: „Tafelland“, „Plateau“ und „Hochebene“. Das Wort „Plateau“ wurde in der Mitte des vorigen Jahrhunderts von Buache für hochgelegene, nach allen Seiten abfallende Landstriche angewendet; es kann in der deutschen Sprache entbehrt werden. Der Ausdruck „Tafelland“ sollte auf diejenigen Fälle beschränkt werden, wo Tafellagerung, d. h. ebenflächige, nahezu horizontale Lagerung, den Charakter bestimmt. Dies kann nur dann der Fall sein, wenn den Agentien der Skulptur Gelegenheit gegeben ist, die Tafellagerung ersichtlich zu machen. Gebirgsländer, deren Hohlformen, wie in Tibet und auf dem

eranischen Hochlande, durch Schuttauffüllung in flache Becken verwandelt worden sind, sollten niemals, auch wenn die letzteren noch so flach und weit sind, als „Plateau“ oder „Tafelland“ bezeichnet werden. Am unziemlichsten ist der für derartige Fälle häufig angewendete, bereits in § 274 erwähnte Ausdruck: „Plateau (auch wohl „Tafelland“) mit aufgesetzten Randgebirgen“, da gerade umgekehrt die Gebirge das Ursprüngliche, diejenigen Gebilde hingegen, welche Flächenausbreitungen schaffen, ihnen aufgesetzt sind. Sie sind für die Menschen und die allgemeine Physiognomik wichtig, aber im Gebirgsbaue spielen sie die Rolle einer unwesentlichen, sporadischen äussern Bekleidung. — Vorsicht ist in der Anwendung der Bezeichnung „Hochebene“ anzuraten. Der Reisende liest allerdings nicht selten von der Hochebene von Mexiko, von Quito, von Tibet und von derjenigen der Mongolei. In allen diesen Fällen steht der Charakter des Landes im Widerspruche mit dem Begriffe der Bezeichnung. Hochebenen kommen einerseits in grösserer Ausdehnung vor, und dann hat man es stets mit Tafelländern zu thun und wendet zweckmässiger diesen viel bezeichnendern Ausdruck an; andererseits finden sie sich in kleinerm Massstabe, wo feste Ausfüllungen an Stelle binnenländischer Seen getreten sind, daher als Boden von Becken. Dies sind bei hoher Lage echte Hochebenen, und auf sie ist der Name zu beschränken. — Die Fähigkeit zu weit umfassenderer Anwendung besitzt der Ausdruck „Hochfläche“, überdies als man von einer muldenförmigen, einer beckenförmigen, einer ansteigenden, einer welligen etc. Hochfläche, sowie von verschiedenartigen Anordnungsformen mehrerer Hochflächen reden kann, während sich das Wort „Hochebene“ nicht dafür einsetzen lässt. — Auch „Hochland“ wird mit den oben genannten drei Worten identisch angewandt. Es ist zweckmässiger, es nur im Gegensatze zu „Tiefland“ zu gebrauchen und hochgelegenes Land im allgemeinen, insbesondere aber solches, in welchem Flächenausbreitungen und Gebirge miteinander wechseln, damit zu bezeichnen. So kann man von dem Hochlande von Tibet, dem eranischen und pamirischen Hochlande oder von demjenigen von Ecuador sprechen und in ihnen Gebirge und Hochflächen voneinander sondern.

Diejenigen Erdräume, auf welche wir in der angedeuteten Beschränkung hier die Bezeichnung Tafelland ausschliesslich anwenden, welche sich also neben einer ebenmässig ausgebreiteten

Oberfläche durch horizontalen Schichtenbau auszeichnen, können in verschiedenen Meereshöhen liegen, sehr geringe und sehr weite Ausdehnung haben und sich einseitig oder an zwei Seiten oder nach allen Seiten an darüber aufragendes Gebirge anlehnen.

Eigentlich bestehen sie aus denselben Ablagerungen, welche das marine Flachland bilden oder vielmehr den diesem zu Grunde liegenden Schichtenbau zusammensetzen. Aber von Tafellandcharakter kann man erst sprechen, wenn sie zu Schichtgesteinen verfestigt sind. Ist dies der Fall, so kann die Oberfläche eines Tafellandes unter Umständen nur so weit über dem Meeresniveau liegen, um eben trocken zu sein. Aber bestimmter zeichnet sich der Charakter erst bei etwas höherer Lage. In der Regel findet ein steiler Abfall nach einer Seite statt, zuweilen nach mehreren und in manchen Fällen (wie bei dem Ustiurt-Tafellande, einem echten „Plateau“ im Sinne von Buache) nach allen Seiten. Die Abfälle können Abrasionsklippen sein und die Grenze bezeichnen, bis zu welcher die Brandungswelle in einem tiefern Niveau vorgedrungen ist. Sie können aber auch durch einfachen Bruch und Versenkung oder durch Staffelbruch verursacht sein und werden dann meist aufgebogene Ränder haben. Wo immer ein steiler Abfall vorhanden ist, verursacht er einen einseitigen Gebirgscharakter. Man glaubt vom Fusse aus ein wallartiges Gebirge vor sich zu haben, und wenn man hinaufsteigt, befindet man sich auf Tafelland. Staffelabsenkung verbreitert, wo sie vorkommt, die durch Gebirgsnatur ausgezeichnete Randzone.

In allen Fällen sind die Einschnitte und Verzweigungen der Stromfurchen von Interesse. Ist es auch selbstverständlich, dass bei der ersten Trockenlegung die Gewässer der Neigung des Bodens folgten, so gelingt doch dem Wasser ein tieferes Einschneiden erst dann, wenn an der Stelle, wo es ein Tafelland oder eine Stufe desselben verlässt, ein stärkeres Gefälle geschaffen wird. Dies geschieht z. B. durch die Bildung eines Bruchabfalles. Die Flüsse werden dann in ihren ursprünglichen Rinnen zu verharren streben, was auch die späteren, besonders in Verwerfungen sich äussernden tektonischen Vorgänge sein mögen. Zerklüftung durch Torsion wird die einmal bestehenden Hauptrinnen nachträglich wenig beeinflussen, wohl aber die Gestalt der sich rückwärts einschneidenden Rinnen zweiten Grades und weiter zurückliegender Grade bestimmen. Es ist in § 75 dargestellt worden, wie das Profil der Rinnen von

dem Gesteinscharakter, dem Klima und der Lage und Beschaffenheit der Quellgebiete der Ströme abhängt. Das Modell für scharf geschnittene Rinnen ist das Tafelland am Colorado, welches auch ein unvergleichliches Studienobjekt für den Schichtenbau von Tafelländern und die dieselben durchsetzenden Absenkungsbrüche dargeboten hat. Im Gegensatze dazu ist das rings von Gebirgen umschlossene, ein Areal von mehr als 200 000 qkm umfassende Tafelland der Provinz Sz'-tshwan in China, welches aus thonigsandigen Schichtgesteinen besteht und in welches der Yang-tszĕ-kiang und seine zahlreichen, von allen Seiten zueilenden schiffbaren Zuflüsse bis über 2000 Fuss tief eingeschnitten sind, dadurch charakterisiert, dass wegen des feuchten Klimas die Gehänge bis zu der über alle Furchen ebenmässig hinwegziehenden Hochfläche des Tafellandes allmählich abgeböscht sind.

Die Sedimentgesteine der Schichtungstafelländer ruhen in den meisten Fällen auf Abrasionsflächen. Geht die Erosion auf diese nieder, und ist das Gefälle auch dann noch stark genug, dass die Gewässer sich tief eingraben können, so behalten die Furchen ihre Richtung; es entstehen epigenetische Furchenthäler; die transgredierenden Schichtmassen des Tafellandes können bis auf geringe Reste oder vollständig entfernt werden: eine fremdartige Skulptur prägt sich in der Erosion des unter der Abrasionsfläche gelegenen Grundgebirges aus; an Stelle des Tafellandes wird ein Erosionsgebirge gebildet.

Afrika ist der Kontinent der Tafelländer. Dort sind die Beobachtungen ganz besonders auf die mit deren Natur verbundenen Erscheinungen zu richten; mannigfaltige Belehrung über dieselben ist von dort gekommen und weiterhin zu erwarten.

d. Ueberguss tafelland. — Wo Basaltfluten sich deckenartig ausbreiten (s. S. 560), da entsteht eine ebene Oberfläche: lagern verschiedene Ströme übereinander, so kann ein ganz daraus zusammengesetztes Tafelland gebildet werden. Häufiger findet sich eine einzige Decke des Gesteines, nicht selten über Schichtungstafelland ausgebreitet. Sie schützt die Unterlage vor Zerstörung (§ 76), weicht aber schliesslich in einzelnen Teilen; es entstehen zerlappte Formen, welche durch die scharf begrenzten Umrisse der in schwarzen senkrechten Wänden abgebrochenen Basalttafel gezeichnet werden, und bei weiterer Auflösung sondern sich einzelne Tafelberge ab: es bildet sich ein Typus von Erosionsgebirgen.

e. Stromflachland. — Die in einem frühern Abschnitte (§ 83 ff.) betrachteten Ablagerungen der fliessenden Gewässer entstehen allenthalben, wo diese lose Massen mit sich führen und das Gefälle so gering ist, dass es dieselben nicht weiter zu tragen vermag. Sie haben dadurch die weiteste Verbreitung, nehmen aber überall nur schmale Zonen ein; die grösste Entfaltung erreichen sie als Decke marinen Flachlandes.

f. Flachboden der atmosphärischen Aufschüttung. — Obgleich unter allen Formen der Flächenausbreitung am allgemeinsten vorkommend, werden doch diese nur in einzelnen Gegenden so typisch, um den Grundzug im physischen Charakter zu geben. In trockenem Gebirgslande werden Muldenflächen gebildet, indem der Gehängeschutt die steiler einfallenden Flanken, der äolische Staub die flachen mittleren Teile zusammensetzt, und Uebergangsstufen von der Randzone gegen das centrale Areal hin stattfinden. Ueber ebenem Lande hingegen tritt nur die äolische Aufschüttung formgebend auf. Ihr Charakterzug ist Horizontalausbreitung und Nivellierung der kleineren, in den Centralgebieten der Kontinente auch der grösseren Unebenheiten des Bodens.

6) Erosionsgebirge

§ 283. Werden Flachboden jedwelcher Art durch die äusseren Agentien so weit ausgefurcht, dass ein gewisses Gleichgewicht zwischen Hohlformen und stehengebliebenen Teilen eintritt und der Charakter ebenmässiger Flächenausbreitung für das ungeübte oder nicht kombinatorisch erfassende Auge verschwindet, so wird Hügelland und, wenn die Erosion bis zu grosser Tiefe geschah, Bergland gebildet, bei welchem, im Gegensatze zu den meisten vorher genannten Kategorien von Gebirgen, die inneren Erdkräfte nicht das Veranlassende sind. Die Formen hängen von einer Reihe verschiedener Umstände ab, wie Art und Härtegrad der Gesteine, Lagerungsform derselben, Intensität der Einwirkung der zerstörenden Agentien.

Einzelne Fälle sind im vorhergehenden angedeutet worden. Die Abrasionsfläche kann in manchen Fällen weit vorgeschrittener Ausfurchung, wie in denen von Wales und Liautung, noch rekonstruiert werden. Bei weiterm Fortschritte dürfte dies kaum mehr möglich sein. Die Umgestaltung des Tafellandes ist im Quadersandstein der sächsisch-böhmischen Schweiz und

der Gegend von Adersbach, sowie am Colorado ersichtlich, wo die der Erosion am meisten ausgesetzten Teile in Hügelland und Bergland vorwaltend sind, die weniger exponierten den Tafellandcharakter bewahrt haben. In Sz'-tschwan wird der Topograph Hügelland erblicken, der Geolog erkennt sofort das Tafelland. Eine noch weitergehende erosive Umgestaltung ganz analoger Art hat das Tertiärland erfahren, welches das siebenbürgische Becken ausfüllt und ehemals eine ebene Oberfläche besass. In höherm Grade ist der Charakter in der Regel bei dem Uebergusstafellande bewahrt, weil die auflagernde feste Gesteinsdecke die Tafelgestalt in jedem Teile solange behält, bis sie ganz zerstört ist. Aus recenten, nicht gestörten Aufschüttungen des Meeresbodens entsteht meist sanftes Hügelland. Dies ist bei jüngeren Tertiärablagerungen vielfach ersichtlich. Selbst die atmosphärischen Aufschüttungen werden dort, wo sie sehr mächtig lagern, durch Erosion in Bergland verwandelt. Wo im nördlichen China oder in der Gegend von Lhassa ehemalige Salzsteppen in Lössland umgestaltet sind (§ 215), kann man von wahren Lössgebirgen sprechen.

§ 281. Wenn man die ganze Reihe von Formen der Gebirge und Flächenausbreitungen überblickt, so erkennt man, dass sie ineinander verwandelt werden können. Gebirge werden durch Abrasion in zweierlei Flächenausbreitungen zerlegt, welche zum Teile nebeneinander, zum Teile übereinander angeordnet sind, nämlich die Abrasionsplatte und das submarin gebildete, transgredierende Aufschüttungsflachland. Dieses kann trockengelegt und den Kontinentalmassen hinzugefügt werden. In ähnlicher Weise wird das durch die festländische Denudation den Gebirgen entnommene Zerstörungsmaterial in Flächen abgelagert. Jede Flächenausbreitung, welcher Art sie auch sei, kann wieder in ein Gebirge verwandelt werden, entweder durch Bewegungen in der Erdrinde oder durch Erosion. Es ist ein Kreislauf von Vorgängen, in welchem der gegenwärtige Zustand des Planeten und jedes einzelnen Teiles der Oberfläche der Kontinente eine Phase darstellt. Dieser Wandlungen muss man sich bewusst sein, um die Formen in ihrer Bedeutung zu verstehen. Man kann, um sich den Kreislauf zu vergegenwärtigen, mit jeder beliebigen Phase beginnen. Setzt man als erste die marine Ablagerung, so haben wir:

1) Aufschüttung von Zerstörungsprodukten auf dem Meeresgrunde, Ablagerung horizontaler Schichten, Bildung eines Flachbodens;

2) Schwankungen des Meeresspiegels und Bewegungen grosser Teile der Erdrinde, dadurch Trockenlegung des marinen Flachbodens;

3) Bruch und Absenkung, oder

4) Faltung, Bruch und Ueberschiebung, faltige Ueberwallung, alles dies entlang gewissen Zonen, Entstehung tektonischer Gebirge;

5) als begleitendes Moment der tektonischen Vorgänge: Bildung aufgesetzter parasitischer Gebirge durch Eruptionen;

6) Einwirkung äusserer Agentien auf die erhabenen Teile, und zwar einerseits Abrasion oder Zerstörung der Gebirge von ihren innersten Teilen aus, andererseits Denudation oder Zerstörung von aussen, Bildung von Rumpfgebirgen, von Abrasionsplatten, die in Schollengebirge zerlegt werden können, und von Erosionsgebirgen;

7) Aufschüttung der Zerstörungsprodukte in den Vertiefungen und auf den Flachboden des Festlandes sowie auf dem Boden der Wasserbecken.

Damit kommen wir an die als Ausgang gewählte Phase zurück. Das Endziel der zerstörenden Vorgänge, die Nivellierung, wird niemals erreicht.

C. Elemente des äussern Gebirgsbaues.

§ 285. Wenn der Reisende an ein Gebirge gelangt, so bieten sich ihm aus der Ferne die äusseren Gestalten desselben dar, und wenn er es durchschreitet, hat er Gelegenheit, einzelne an seinem Wege gelegene Teile genauer zu sehen. Der Gesamtanblick gewährt ein unvollkommenes Bild; erst die Kenntnis der Teile füllt es aus und berichtigt es; wer aber nur die letzteren zu sehen bekäme, würde sich ein Bild des Ganzen nicht machen können. Gerade so verhält es sich mit dem Verständnisse für die Ursachen der äussern Gestalt, welches der Forschungsreisende erstrebt. Er muss suchen, einen allgemeinen Begriff von der Gesamtstruktur des Gebirges und den Agentien, welche bei seiner äussern Ausgestaltung besonders wirksam gewesen sind, zu gewinnen; dann wird es ihm leichter werden, den Einzelbau der Glieder zu verstehen. Andererseits wirkt deren sorgfältiges Studium auf die Berichtigung und

Vervollständigung der Gesamtauffassung zurück. Man sollte sich bemühen, dies stets im Auge zu behalten und das Einzelne nicht als etwas für sich Bestehendes, sondern in bestimmter Weise einem grössern Ganzen Eingeordnetes zu betrachten. Zu diesem Zwecke muss man lernen, unablässig vergleichend und kombinatorisch vorzugehen, um die Bedeutung des kleinsten morphographischen Elementes richtig zu erfassen und ihm seine Stellung in dem Wirkungsbereiche genetischer und dynamischer Vorgänge, sowie in dem Gesamtgerüste, von dem es einen Teil bildet, anzuweisen. Nur auf diesem analytischen Wege vermag der Reisende dahin zu gelangen, die grossen Gebirge, welche er durchwandert, als Elemente im Baue ausgedehnterer Erdräume scharf und in ihrem innern Wesen zu erfassen.

Nachdem die Thäler der Gebirge bereits an einer andern Stelle erörtert worden sind, möge es genügen, noch einzelne wichtigere Elemente hervorzuheben und auf einige Gesichtspunkte, von denen sie betrachtet werden können, aufmerksam zu machen.

Bei Uebersteigung eines Gebirges stellen sich der Beobachtung der Reihe nach dar: der Fuss, die Abfälle oder Abdachungen mit ihren Verzweigungen und eingesenkten Thälern, die Höhenregion mit dem Kamme, dann die Abdachungen der entgegengesetzten Seite bis zu ihrem Fusse. Ebenso ist die Reihenfolge bei dem Uebergange über ein einzelnes Glied des Gebirges.

1) Der Gebirgsfuss.

§ 286. Theoretisch ist der Gebirgsfuss die Grenzlinie der Gebirgsabfälle gegen die benachbarte Flächenausbreitung oder des Gebietes der Abtragung durch Gewässer und Eis gegen dasjenige der Ablagerung der Zerstörungsprodukte. Zuweilen ist sie in der That scharf gezeichnet, aber häufiger ist in Beziehung auf äussere Formen und innern Bau eine Zone des Ueberganges vorhanden, indem entweder besonders in trockenen Gebieten lange Schutthalden sich von den Gehängen herabziehen und jene Linie verhüllen oder fliessende Gewässer die an das Gebirge sich anlehnenden Ablagerungen aus früherer Zeit tief durchfurcht und in ein Hügelland aufgelöst haben. Die geologische Karte zeigt alsdann meist weit schärfer als eine orographische die Grenze von Gebirge und Hügelland, sowie diejenige zwischen Hügelland und weiter hinausgeschobenem

Flachlande an. Der ungeübte Blick nimmt nur allmähliche Uebergänge in den Formen wahr. Aber selbst geologische Farben vermögen in manchen Fällen eine Grenze nicht anzugeben, z. B. dort, wo Faltenwölbung, wie im Falle des Jura, durch allmähliche Abschwächung in tafelförmige Schichtenausbreitung übergeht. Häufig kann man überhaupt von einem Gebirgsfusse nicht sprechen, z. B. dann, wenn, wie an der Südseite des Riesengebirges, die Abfälle in bergiges Land von grösserer Ausdehnung übergehen. Nur genaue Erforschung der innern Struktur vermag alsdann das Gebirge aus seiner bergig aufgelösten Hülle herauszuschälen. Für das Verständnis des Charakters verschiedenartiger Länder sind diese Verhältnisse von höchster Wichtigkeit. Die Verbindung von orographischer und geologischer Kartendarstellung mit sorgfältiger Beschreibung ist allein im stande, sie zu richtiger Anschauung zu bringen und das Zusammengehörige von dem Fremdartigen zu trennen. Von Interesse ist der Kontrast, welcher sich meistenteils, z. B. in eminenter Weise bei den Pyrenäen und dem Himalaya, zwischen den Verhältnissen der Plastik und Struktur an den Gebirgsgrenzen der entgegengesetzten Flanken darbietet. Je mehr man diese Beziehungen betrachtet, desto mehr ist man geneigt, den Ausdruck „Gebirgsfuss“ als selten anwendbar zu verlassen und an seine Stelle „Gebirgsgrenze“ zu setzen. Dieser Begriff führt dazu, ein Gebirge als eine zusammengehörige Masse von besonderer Struktur aufzufassen, welche in der Regel in umhüllende Gebilde hinabtaucht, die entweder selbst gebirgigen Charakter haben oder Flachland sein können. Vergleichendes Studium dürfte dazu helfen, für diese Verhältnisse bestimmtere Bezeichnungen zu finden, als sie durch die etwas unbeholfenen Beschreibungen, auf die man jetzt angewiesen ist, gegeben werden.

2) Die Kämme der Gebirge.

§ 287. Während der „Gebirgsfuss“ ein relativer, im Einzelfalle oft schwer zu bezeichnender und nicht selten theoretisch bleibender Begriff ist, knüpft sich eine konkretere Vorstellung an den Ausdruck „Gebirgskamm“. Es würde aber doch in der Mehrzahl der Fälle schwer sein, eine genaue Definition des Wortes zu geben und den Kamm gegen die Flanken scharf abzugrenzen. Die Vorstellung bleibt eine allgemeine und unsichere. Sie knüpft an eine Linie an, welche die höchsten Punkte der

einzelnen Querschnitte eines Gebirgszuges oder Bergrückens miteinander verbindet und welche als die Kammlinie oder Firstlinie bezeichnet wird. Läuft dieselbe über eine gleichmässige oder ausgezackte Schneide, so beginnen die beiderseitigen Flanken an dieser; der Kamm fällt alsdann eigentlich mit der Kammlinie zusammen, wenn auch der praktische Sprachgebrauch den Begriff körperlich fasst und auf den höchsten Grat der Gebirgsmasse ausdehnt. Schliesst sich der Linie beiderseits eine ebene oder flach konvexe Fläche an, so ist dies die Kammfläche oder Scheitelfläche; an sie setzen die Flanken oft scharf und unvermittelt an. Die Scheidung ist dann eine bestimmtere, und doch wird in der Regel die Bezeichnung „Kamm“ auf solche Flächen nicht mehr angewendet.

Jeder Gebirgszug oder Bergrücken hat eine äusserliche Quergliederung, welche wesentlich durch Erosion geschaffen ist und darin besteht, dass zwischen den in die Flanken geschnittenen Hohlformen rippenförmig angeordnete Rücken stehengeblieben sind. Diejenigen unter ihnen, deren Höhenlinie kontinuierlich abfällt, pflegt man nur als Gliederungen der Flanken, diejenigen, deren Höhenlinie ebenmässig verläuft oder nach dem ersten Abfalle einmal oder in mehrfacher Wiederholung ansteigt, ehe sie ihr Ende erreicht, als Gliederungen des Hauptrückens anzusehen. Sie können als Jochrücken und Jochzüge bezeichnet werden. Die Firstlinie, in der die Jochflanken sich vereinigen, ist der Jochkamm. Auch an dessen Stelle tritt oft eine Scheitelfläche. Der Jochrücken kann seinerseits ebenfalls (in dem angegebenen Sinne) entweder gegliederte Flankenabfälle haben oder selbst gegliedert sein und nach beiden Seiten Höhenrücken dritten Ranges mit selbständigen Kämmen aussenden. Die meisten Kämme beschränken sich auf eine mehr oder minder reiche Quergliederung. Doch kommt es vor, dass ein Kammzug sich gabelt; wo er ausstreicht, ziehen nicht selten mehrere Jochrücken in radialer Stellung hinab. Bei Einzelbergen, insbesondere Vulkanen, findet diese Radialstellung ringsum statt; doch werden bei ihnen die aufragenden Rippen wegen ihres kontinuierlichen Abfalls in der Regel nur als Flankengliederungen betrachtet und ihren Firsten ein Anspruch auf den Namen „Kamm“ nicht gewährt.

Die Kämme, ihr Verlauf, ihre Gestalten und Verzweigungen gehören zu den wesentlichen und charaktergebenden Elementen im äussern Baue der Gebirge. Der Reisende sollte bestrebt

sein, sie in ihren Formen scharf zu erfassen, genaue Profillinien zu zeichnen, den Gesteinsbau dabei anzugeben und die Bildungsvorgänge zu ergründen, welche in jedem einzelnen Falle die besondere Gestalt veranlassten. Er wird dadurch, wenn er zugleich die Höhenverhältnisse in grösserer Erstreckung annähernd feststellt, wichtigeres Material sammeln, als wenn er sich mit der selbstverständlichen Aufgabe begnügt, sporadische Höhen von Gipfeln und Pässen so genau als seine Mittel es erlauben zu bestimmen. Wenn man jedoch für die einzelnen Formen bezeichnende Ausdrücke zu finden sucht, wird man leicht gewahr, wie sehr es noch an einer brauchbaren Nomenklatur und Systematik der orographischen Elemente fehlt.

Auch bei diesem Gegenstande ist es nützlich, die Fragestellung nach einer Reihe von Gesichtspunkten zu thun.

a. Ist der Bau des Gebirges bekannt, so lässt sich der Gesichtspunkt der ursprünglichen Entstehungsart obenan stellen. Es ist offenbar, dass einzelne Kämme ihr Dasein tektonischen Vorgängen in erster Linie verdanken. Man kann sie, wenn hierüber ein Zweifel nicht obwaltet, als tektonische Kämme bezeichnen. Je nachdem Faltung oder Verwerfung zu Grunde liegt, sind der Faltungskamm und der Bruchkamm oder Schollenkamm (im Sinne von § 275) zu unterscheiden. Der Jura, die äusseren Zonen der Karpathen und der Apenninen und viele andere Gebirge bieten Beispiele für die erste, die früher genannten Schollengebirge solche für die zweite Kategorie. Die Faltungskämme sind gewöhnlich in Mehrzahl vorhanden und einander parallel. Auch die Schollenkämme können infolge von Staffelbruch in paralleler Wiederholung auftreten. Sie besitzen, ebenso wie jene, von Hause aus einfache Formen, haben aber durch Erosion nachträglich oft erhebliche Umgestaltung erlitten. Zu einer besondern (dritten) Kategorie, nämlich derjenigen der Erosionskämme, giebt jedoch das letztgenannte Agens nur dann Anlass, wenn es der Kammbildung primär zu Grunde liegt. Dies ist am vollkommensten dort der Fall, wo die Erosion einen vormaligen Flachboden durch Ausfurchung in bergiges Land verwandelt hat. Daher spielt diese Kategorie in allen Abrasionsgebirgen, auch wenn deren Aussenfläche gewölbt ist, eine bedeutende Rolle. Ebenso rein tritt sie in stark durchschnittenen Tafelländern auf. Ausserdem sind die Flanken tektonischer Kämme durch das Einreissen von Furchen in querstehende Erosions-

kämme zerlegt. In diesem sehr häufigen Falle sind die letzteren accessorische Gebilde und ordnen sich als Glieder einem andern Haupttypus unter. Bei weiterm Fortschreiten der Erosion kann der ursprüngliche Charakter des tektonischen Kammes vollständig verlorengehen, sodass die Deformierungsvorgänge nur durch Schlussfolgerung als das der Gestaltung primär zu Grunde liegende Moment zu erkennen sind. — Endlich ist als eine vierte Kategorie der Aufschüttungskamm zu nennen, welcher allen parasitischen Gebirgen und Gebirgsgliedern eigen ist.

Auch die über die Kämme sich erhebenden Gipfel und die in sie eingeschnittenen Pässe, als die beiden wichtigsten besonderen Elemente in jenen, können auf ihre Entstehungsart geprüft werden. Man wird finden, dass alle eingesenkten Kammpässe und die meisten Gipfel der Erosion ihre Entstehung verdanken, und zwar die letzteren zum Teile infolge ihrer Lage zu den Erosionsfurchen, wie dies in Fig. 28 auf S. 142 dargestellt wurde, zum Teile infolge der Widerstandsfähigkeit, welche die Gesteine, aus denen sie bestehen, vermöge ihrer Härte oder ihrer Lagerung bieten. Selten werden sich höhere Gipfel als unmittelbare Erzeugnisse tektonischer Vorgänge erweisen. Dagegen sind als eine wichtige Kategorie die Aufschüttungsgipfel zu trennen. Zu diesen gehören vor allem die Vulkane. Sie haben allerdings, wie immer, eine parasitische Stellung und können jedem Teile des Gebirges aufsitzen; aber die Fälle sind nicht selten, in denen sie unmittelbar über einem Gebirgskamme aufragen und die Firstlinie über sie hinwegzieht.

b. Ein anderer Gesichtspunkt bietet sich in dem Verhältnisse der Streichrichtung zur Lagerung der Gesteine. In allen Gebirgen mit geneigtem Schichtenbaue kann man longitudinale, transversale und diagonale Kämme unterscheiden, und zwar unabhängig von der Frage nach der Art der Entstehung. Longitudinal, d. h. dem Schichtenstreichen ganz oder nahezu parallel, sind in der Regel die Hauptkämme. Infolgedessen haben die von diesen sich seitlich herabziehenden oder überhaupt winklig zu ihnen gestellten Jochkämme eben so häufig eine transversale oder diagonale Richtung. Die geneigten Schichten ziehen quer über sie hinweg, weil die Entwässerungsfurchen, welche deren Ausmeisslung veranlassten, derselben transversalen Richtung folgen. Der Härtewechsel der Gesteine kommt an den Joch-

flanken und auf der Jochfirst viel mehr zur Geltung als bei dem Hauptkamme; daher haben die Jochkämme meist weit unebenere und wechselvollere Höhenprofile. Transversale Kämme werden manchmal zu wesentlichen Gliedern der Gebirge und können eine bedeutende Längserstreckung erreichen. Ihre Querglieder sind meist dem Hauptkamme mehr oder weniger parallel. Dies sind also wieder Längskämme, und mancher unter ihnen kann grössere Erstreckung in der Richtung des Schichtenstreichens haben.

c. Es ist ferner die Art der Gesteine zu untersuchen, welche an einem Kamme in seinem Verlaufe auftreten. Jedes derselben neigt zu gewissen Formen, und dies ist selbst bei den Abänderungen eines einzelnen Gesteines zu verfolgen. So ist jeder Teil der nördlichen und südlichen Alpen durch eine Reihe verschiedenartiger und verschiedene Altersstufen darstellender Kalksteine charakterisiert. Wer den Blick dafür schärft, vermag schon aus der Ferne an den Formen der Umrisse und Gehänge die einzelnen Abänderungen, zum Teile mit vollkommener Sicherheit, zu erkennen. Diese Unterschiede können hier nicht im einzelnen erläutert werden. Es möge genügen, diejenigen zwischen Kerngebirgskämmen und Deckgebirgskämmen im allgemeinen hervorzuheben. In einem und demselben Gebirge haben die kammbildenden Agentien insoweit gleichartig gewirkt, dass beiderlei Gebilde sich scharf voneinander abheben; aber sobald man verschiedene Gebirge miteinander vergleicht, weichen die den gleichen Gesteinsgruppen angehörigen Formen sehr weit voneinander ab. Wenn im vorhergehenden die Kategorien der homöomorphen und heteromorphen Faltungsgebirge und der Rumpfgebirge mit Rücksicht auf die primär gestaltenden Faktoren gesondert wurden, so kommen die äusseren Unterschiede derselben nicht allein in der Art und Anordnung der Hohlformen, sondern auch in der Entwicklung der Kämme des Grund- oder Kammgebirges und des als Decke auflagernden Flözgebirges zur Geltung. Obgleich die Rumpfgebirge wesentlich aus den festen Kernmassen bestehen, finden sich doch in ihren Hauptkämmen nur äusserst selten die kühnen, zackigen Formen, welche den Kerngebirgskämmen der Alpen eigentümlich sind.

d. An der Hand der genannten Unterscheidungen lassen sich die Gestalten der Kämme grossenteils verstehen. Sie bieten eine ausserordentliche Mannigfaltigkeit dar. Manche Gebirge sind auf der Höhe flächenartig ausgebreitet, ohne her-

vorragende Gipfel oder tiefe Einschartungen zu besitzen. Sie gleichen einer schwach konvexen Platte, in welche die Furchenthäler mit weitaus vorherrschender Querrichtung steilwandig eingerissen sind, und zwar begegnen sich deren obere Enden von den entgegengesetzten Seiten her nur an einzelnen Stellen. Die anstatt des Hauptkammes vorhandene ebene oder mässig gewölbte Fläche ersetzt auch in ihren Verzweigungen zwischen den Querthälern die quergerichteten Jochkämme. Dies ist typisch für die Rumpfgebirge, wenn die Erosion überhaupt erst einen mässigen Grad erreicht oder doch die Abtragung der Gehänge mit der Vertiefung der Furchen nicht gleichen Schritt gehalten hat, wie in Skandinavien, im Altai und im rheinischen Schiefergebirge. Der Begriff „Kamm“ ist hier in seiner gewöhnlichen morphographischen Fassung eigentlich nicht anzuwenden, und doch haben die Reste der Abrasionsfläche die oroplastische Stellung der Kämme. Man kann diese Form als Plattenkamm oder Abrasionskamm bezeichnen. Von ähnlicher Gestalt sind die Tafelkämme in unvollkommen erodiertem Tafellande. Weit ausgebreitete Kammtafeln ersetzen hier oft die Stelle der Gebirgskämme.

Den Gegensatz dazu bildet der Zackenkamm, wie er den mit Gletschern bedeckten Kernzügen der Alpengebirge eigentümlich ist. Die Anschwellungen erheben sich zu schroff und kühn gestalteten Gipfeln; die Einsenkungen der Firstlinie zwischen ihnen erinnern in ihrer Gestalt an nach unten gekehrte gleichgeformte Gipfellinien. Im Querprofile waltet der scharfe Grat vor. Die Mannigfaltigkeit wächst in den Firstlinien der Jochkämme, wo Härtewechsel und Lagerung der Gesteine die durch ungleiches Mass vollzogener Erosion veranlasste Unruhe der Formen oft in ausserordentlicher Weise steigern. Dazu kommt die Komplikation vermittelst der häufigen Unterbrechung durch Jochformen dritten Grades, welche der Parallelstellung der Zonen harten Gesteines ihr Dasein verdanken und als einfache oder verzweigte Kämme über die Jochrücken quer hinwegziehen.

Zwischen den beiden genannten extremen Formen giebt es eine Menge von Uebergangsstufen. Man beobachtet sie am vollkommensten in der allmählichen Umgestaltung der Rumpfgebirge. Es können hier verschiedene Verhältnisse obwalten. In der ursprünglich zu Grunde liegenden, durch Abrasion hervorgebrachten Oberflächenform sind die Höhenunterschiede nicht

bedeutend; aber eine Zone grösster Anschwellung ist doch vorhanden, und zwar ist sie in der Regel dem allgemeinen Schichtenstreichen parallel. Sind nach beiden Querrichtungen die Abdachungen langgedehnt, so schneiden die Gewässer von beiden Seiten her ihre Abflussrinnen von unten nach oben ein, und zwar um so tiefer, je grösser das Produkt von Gefälle und Wassermasse ist. Die in gleichen relativen Höhen befindlichen Punkte der Sohlen der Thalfurchen liegen dann in denjenigen, welche an demselben Abhange befindlich und benachbart sind, viel näher beieinander als in denen, die an den entgegengesetzten Flanken voneinander hinweg gerichtet sind. Infolgedessen erleiden die durch Erosion geschaffenen Querrücken eine schnellere Umgestaltung als der Hauptrücken. Während dieser in seiner Kammlinie wellige Formen annimmt und grosse, breitgerundete Gipfelmassen zeigt, entwickelt sich auf den langgezogenen Querjochen die Gestalt stellenweise gezackter Kämme. Dies ist das Verhältnis des oft genannten gewaltigen Tsinlinggebirges an den Grenzen des nördlichen und des südlichen China, wo die unruhigen Formen der überaus wilden Querrücken mit ihren Einschartungen und ihren Unterbrechungen durch einzelne herauspräparierte und wohl entwickelte, die harten Gesteine bezeichnende fragmentarische Längsrücken die Macht der Erosion erkennen lassen, während im Gegensatze dazu der Hauptkamm im ganzen noch einfach gerundete Formen zeigt; da aber die Nordseite kürzer ist, haben die Gewässer derselben trotz geringerer Niederschläge den Hauptkamm an einzelnen Stellen tief eingeschartet und die Wasserscheide an ihnen nach Süden verschoben. Zugleich ist der Zackenkamm in der Quergliederung der Nordseite viel vollkommener entwickelt als in derjenigen der Südseite. — In einem noch weit vollkommenern Grade hat die Erosion das aus Gneis bestehende, flachgewölbte Rumpfgebirge von Liautung durchfurcht. Hier ragt alles in wilden Zackengebirgen auf. Obgleich die Höhen wenig über 1000 m hinausgehen, sind doch die Formen alpiner Kernzüge entwickelt. Dasselbe ist der Fall im östlichen Schantung. Wo aber im westlichen Teile dieser Provinz der Typus von Keilschollen mit transgredierend aufgelagerten Tafeln von Schichtgestein sehr vollkommen ausgebildet ist (s. S. 547), ist die aus archaischen Gesteinen bestehende Schollenfirst der Hauptkamm; von ihm senken sich langgedehnte, quergerichtete Jochrücken von Tafelland allmählich hinab. Das steile Gefälle der Bruchseite

hat es den Gewässern ermöglicht, den Hauptkamm zackig zu gestalten, während die Querrücken noch breite Kammflächen tragen.

Noch einige andere Formen mögen Erwähnung finden. Es kommt in dem Kammprofil eines Gebirges zuweilen ein Absinken in Gestalt grosser Staffeln vor, welches in quer gegen das Streichen des Kammes gerichteten Verwerfungen seine Veranlassung haben kann. Im Unterschiede von diesen Staffelkämmen lässt sich der Name Treppenkamm für eine weit davon abweichende Form breiter Tafelkämme anwenden, bei denen die Schichten nicht horizontal lagern, sondern in der Richtung des Kammstreichens flach geneigt sind. Arbeitet die Erosion die weicheren Schichten heraus, so bieten die Abbrüche der härteren das Profil einer liegenden Treppe. Bei steiler Schichtenneigung bildet sich auf Querjochrücken die Gestalt eines Sägenkammes oder Sägengrates heraus. Die Firstlinie zeigt Formen, welche den Zähnen einer Säge vergleichbar sind, indem sie aus einer in weichen Schichten gelegenen tiefen Einschartung steil, oft beinahe senkrecht, bis zu einer Spitze ansteigt, von der sie schief nach einer andern ähnlichen Einsattlung herabzieht, und dies sich mehrfach wiederholt.

e. Ein anderer Gesichtspunkt, nach welchem die Kämme sich unterscheiden, betrifft die Art ihres Fortstreichens. Es giebt gestreckte und mäandrische Kämme. Der eine wie der andere kann fortlaufend (kontinuierlich) oder unterbrochen sein. Unterbrochen ist ein Kamm, wenn er von einem oder mehreren Thälern quer durchschnitten und dadurch in Kammfragmente abgeteilt wird. Früher hat man solche getrennte Glieder nicht als zusammengehörig betrachtet; erst das geologische Studium, verbunden mit genauen Aufnahmen, hat zu der Erkenntnis geführt, dass die Durchgangsthäler nur zufällige Einschnitte sind und trotz der hohen Bedeutung der sich öffnenden Verkehrspforten den orologischen Charakter des kontinuierlich gewesenen Kammes nicht wesentlich beeinträchtigen. Die mäandrisch verlaufende Kammlinie kann ihre Gestalt dem Vorhandensein wenig zurückgreifender, durch Erosion geschaffener Thaleinschnitte verdanken. Sie erscheint dann morphographisch als eine zwar gewundene, aber einfache und zusammenhängende Firstlinie und löst sich erst bei morphologischer Betrachtung in zwei Hauptelemente, nämlich in eine unterbrochene gestreckte Kammlinie und bogenförmig verlaufende Ansätze an den Unterbrechungsstellen, auf.

3) Die Wasserscheide.

§ 288. Die letzte Erörterung leitet unmittelbar über zu einem der wichtigsten Elemente im äussern Gebirgsbaue, nämlich den Wasserscheidelinien. Jeder Bergrücken und jede Erhebung überhaupt ist in der zugehörigen Kammlinie scheidend für das durch den Regen darauf niederfallende Wasser. Die Stellung der Scheiden innerhalb der einzelnen Abflusssysteme ist aber sehr verschieden. So viele Rangabstufungen zwischen den Verzweigungen der letzteren bestehen, so viele giebt es zwischen den Wasserscheiden, und in jedem Gebirgsteile, ebenso wie in jedem Gesamtgebirge, besteht eine, welche von hydrographischem Gesichtspunkte den ersten Rang beansprucht.

a. Je nach der Lage im Verhältnisse zu einzelnen Gebirgsgliedern kann man als Haupttypen die Kammwasserscheide und die Thalwasserscheide bezeichnen. Die Kammscheide ist der normale Fall. Sie ist scharf gezeichnet, wenn dies von der Firstlinie selbst gilt. Aber gerade dann haben die Gewässer, welche von beiden Seiten gegeneinander arbeiten, bereits einen Einfluss auf die Verlegung der Firstlinie und mancherlei mäandrische Abweichungen derselben von der ursprünglichen Kammlinie ausgeübt. Sind hingegen an Stelle der Firstlinie breite Scheitelflächen vorhanden, so kann die Lage der Kammscheide ganz unbestimmt werden. Wo Rumpfgebirge noch solche Flächen tragen, wie es bei denjenigen Skandinaviens der Fall ist, entspringen manche Flüsse aus Moorflächen, in denen eine Scheidelinie nicht erkennbar ist. Die flachen Bodenschwellen zwischen Kongo und oberm Zambesi oder diejenigen zwischen den einzelnen Stromgebieten des östlichen Südamerika haben ebenfalls nur Wasserscheideflächen, aber wie es scheint grösstenteils in normaler Lage entlang der kulminierenden Zone der Kammfläche. Es finden sich in den genannten Gegenden eigentümliche Verhältnisse, welche eines eingehenden Studiums wert sind.

Die Thalwasserscheiden sind von verschiedener Art. Der Name wird hier spezieller für diejenigen angewendet, welche tektonische Längsthäler und Absenkungsthäler quer durchziehen. In beiderlei Thälern findet man nicht selten die bereits angedeutete Erscheinung, dass eine und dieselbe Hohlform in ihren einzelnen Strecken von verschiedenen Abflusssystemen benutzt wird. Diejenigen Rinnsale der letzteren, welche zwei benachbarten Abteilungen angehören und innerhalb der Hohlform

liegen, begegnen sich an einer quer gegen deren Streichen gerichteten, oft sehr niedrigen und für das Auge kaum bemerkbaren Wasserscheide. Es entstehen dadurch die in § 273 genannten gegliederten Thalzüge. In vielen Fällen sind nur zwei, in anderen sind mehrere trogförmige Glieder vorhanden. Die in jedem derselben sich sammelnden Gewässer entweichen in Faltungsgebirgen durch Querfurchen, und zwar nicht selten nach entgegengesetzten Seiten, nach verschiedenen Strömen und verschiedenen Meeren. Wo eine Hohlform am Fusse eines Schollenabbruches in ähnlicher Weise in Abteilungen gegliedert ist, nehmen die Flüsse ihren Ausgang in der Regel nach der Seite der herabgesenkten Scholle, zuweilen mit bemerkenswerten Durchbrüchen; um so rätselhafter ist es, wenn man, wie bei dem Isker, welcher die hoch aufragende Scholle des Balkan durchbricht, das Gegenteil findet.

Da die Querscheide in einem tektonischen Längsthale dem Verkehre geringere Schwierigkeiten entgegensetzt als die Querfurchen, durch welche die Flüsse entweichen, selbst wenn diese schiffbar sind, so hat in Hinsicht auf Verkehr, Ausbreitung der Bevölkerungen und politische Besitzverhältnisse die Querscheide vielmehr einen verbindenden als einen trennenden Einfluss, und die einzelnen Teiltröge eines Thalzuges schliessen sich oft enger aneinander, als jeder von ihnen an den Unterlauf des ihm zugehörigen Flusses. Doch kann das Verhältnis sich anders gestalten, wenn die Querscheiden grosse Höhe und Breite haben, die Querfurchen dagegen hinreichend breit sind, um den Verkehr zu gestatten. Es kommt also immer auf das gegenseitige Verhältnis an. Als grössere Beispiele sind die beiden vollkommen homologen Fälle der Oberläufe von Indus, Setledsch und Sanpo einerseits und von Rhone, Reuss und Rhein andererseits bemerkenswert. Ebenfalls Beispiele grosser Anlage bieten sich in den südamerikanischen Anden, zwischen den West- und Ostkordilleren in Peru und Ecuador. In letzterm Lande scheinen die vulkanischen Anhäufungen die grösseren Höhen der Wasserscheiden zu veranlassen. Unter den zahlreichen Fällen in den Alpen mögen hier die Querscheiden zwischen Drau und Rienz am Toblacher Felde, die unmerkliche Scheide zwischen Rhein und Linth und die Troggliederung des Längsthales von Salzach und Enns genannt werden. Das südliche China bietet Beispiele ohne Zahl. Weiter nördlich ist der wichtige Thalpass zwischen Han und Kialingkiang („China“ II

p. 591) zu nennen. Wie gering die trennende Rolle der Thalwasserscheiden in den grossen durch Absenkung entstandenen Hohlformen ist, zeigen die früher genannten Beispiele vom Südfusse des Balkan und vom südöstlichen Fusse des Erzgebirges. Ganz anders ist es im Innern unvollkommen erodierter Abrasionsgebirge. So sehr auch die Längsfurchen bei diesen zuweilen entwickelt sind, begegnen sich doch, wie bemerkt, deren obere Enden selten in der Weise, dass dadurch ein Thalzug gebildet wird, und in der Regel bedingt die Wasserscheide eine Trennung in den Verkehrsverhältnissen.

Dem genannten Typus sind zwei andere verwandt, nämlich die Furchenwasserscheide und die Beckenwasserscheide. Die erstere ist vorhanden, wenn sich innerhalb einer Quer- oder Diagonalfurche eine relativ niedrige Anschwellung erhebt. Sie wird dadurch zur Passfurche (S. 640); die Gewässer rinnen nach den entgegengesetzten Seiten hinab. Eine Zerlegung in mehr als zwei Abflussgebiete dürfte kaum vorkommen. Die merkwürdigsten Beispiele finden sich einerseits nahe dem Ostrande des Tsinlinggebirges („China" II p. 498), wo eine tiefe und enge Furche die über 2000 m hohen Kämme quer durchschneidet, und in ihrer Sohle, nur wenig mehr als 200 m über dem Meere, die Wasserscheide zwischen Hwang-hŏ und Yang-tszĕ-kiang gelegen ist, andererseits in den Alpen der Südinsel von Neuseeland, wo Haast ein ähnliches Verhältnis fand. In den europäischen Alpen ist der Pass des Reschenscheideck als ein Fall zu nennen, wo innerhalb einer Furche die Wasserscheide fast unmerklich ist, während sie in den durch den Brenner und den Achensee bezeichneten quergerichteten Furchen erheblich höher ansteigt. Wenn man Fälle zur Vergleichung sammelt, sollte man auf die Haupterfordernisse dieser Kategorie achten, nämlich dass eine deutlich ausgesprochene Furche quer durch ein Gebirgsglied zieht und in ihr eine Wasserscheide gelegen ist, welche erheblich unter der Höhe der Furchenränder zurückbleibt.

Die Beckenwasserscheiden finden sich besonders in Lössländern und bestehen darin, dass in einem und demselben flachen Becken verschiedene Gewässer ihren Ursprung nehmen und jedes von ihnen einen der umwallenden Höhenzüge unabhängig durchbricht. Diese Fälle sind besonders dann schwer zu erklären, wenn die durchbrochenen Gebirge aus kristallinischen Schiefern bestehen, wie es z. B. nördlich von Ta-tung-fu (im

nördlichen China) der Fall ist. Leichter verständlich ist ihre Ursache, wenn die Einfassungen aus Kalkstein bestehen, wie es im Peloponnes vorkommt. Eine entferntere Aehnlichkeit mit solchen Fällen hat die vierfache Wasserscheide der Gegend des Enneberg in Südtirol.

Was die Entstehung dieser verschiedenen Typen von Thalwasserscheiden betrifft, so lässt sich darüber etwas Allgemeines nicht aufstellen; die Frage ist von Fall zu Fall zu untersuchen. In Betracht zu ziehen sind die folgenden Möglichkeiten:

1) Das unmittelbare Rückschreiten zweier Erosionsfurchen, welche sich in ihren oberen Teilen begegnen und beiderseits die sie trennende Scheide zu erniedrigen streben. Da dies jedoch immer nur in unvollkommenem Masse erreicht werden kann, so dürften zwar einzelne relativ hohe Furchenwasserscheiden diesem Vorgange ihren Ursprung verdanken, aber für die Erklärung der Bildung flacher Thalwasserscheiden ist er unzureichend. Auch für die ersteren muss die Begegnung in einer kontinuierlichen Rinne auf besonderen Umständen beruhen.

2) Das einseitige Rückschreiten eines tief gelegenen Wasserlaufes gegen den höher gelegenen Boden eines Längsthales und das Abzapfen der bis zu dem Vereinigungspunkte in demselben herabkommenden Gewässer (§ 67). Es wurde bereits dargestellt, wie dann bei *n* in Fig. 29 (S. 143) eine neue Wasserscheide gebildet wird.

3) Schuttauffüllungen und Wallbildungen überhaupt. Wird ein Thal sehr hoch abgedämmt (s. § 91), so kann das Wasser einen neuen Ausweg finden und ihn permanent beibehalten. Werden den von einem Furchenpasse herabfliessenden Gewässern so grosse Schuttmassen zugeführt, dass ihr Bett bis nahe an das Niveau des erstern erhöht wird, so wird derselbe relativ erniedrigt.

4) Absenkungen quer gegen die Streichrichtung eines Thales. Finden sie in solcher Weise statt, dass die frühere Wasserscheide tiefer zu liegen kommt als der Thalsohlenrand in dem höherstehenden Flügel, so wird ein See entstehen, und wenn er das Niveau der frühern Wasserscheide erreicht hat, über diese abfliessen. Es wurde oben (§ 279) angedeutet, dass durch denselben Vorgang die in manche Kämme eingekerbten Lückenpässe zu erklären sein dürften.

5) Epigenetische Thalbildung (§ 81). Sie konnte besonders bei diagonaler Richtung durch die Zerlegung der einzelnen

Flussläufe in Längs- und Querstrecken die in Rede stehende Erscheinung hervorbringen.

6) Die Auflösung der Gesteine. Die Ablenkung des Donauwassers nach der Aachquelle zeigt deutlich, wie sich hier im Laufe der Zeit eine Thalwasserscheide bilden würde. Diese Ursache dürfte häufig zu Grunde liegen.

Damit ist die Reihe der möglichen Ursachen keineswegs erschöpft. Tektonische Ereignisse verschiedener Art und manche mit der frühern Vergletscherung zusammenhängende Vorgänge konnten im stande sein, in die Sohle eines Gebirgsthales eine Wasserscheide zu legen. Man sollte besonders prüfen, ob die Ausbildung der Hohlform der Entstehung der Wasserscheide voranging. Die Thalwasserscheiden bieten in jedem Einzelfalle ein interessantes, oft aber sehr schwierig zu lösendes Problem.

b. Ein anderer Gesichtspunkt betrifft die Lage im Verhältnisse zur allgemeinen Gebirgsanordnung.

Als normale Wasserscheide ist diejenige zu bezeichnen, welche mit der Hauptkammlinie eines Gebirges in deren ganzer Erstreckung oder doch grossenteils zusammenfällt. Dies findet sich oft in sehr vollkommener Weise bei den aus kristallinischen Schiefern bestehenden Kernzügen der Faltungsgebirge. Ein Beispiel bietet die Kette der Tauern, wo die Wasserscheide in einer grossenteils durch schroffe Grate scharf gezeichneten Linie liegt.

Sehr häufig, wahrscheinlich in der Mehrzahl der Fälle, kommt es vor, dass der Hauptkamm nur in einzelnen kurzen Strecken oder gar nicht die Hauptwasserscheide bildet, sondern an einer oder mehreren Stellen von Flüssen durchbrochen wird und diese mit seinen beiderseits herabrinnenden Gewässern als ein zwar wichtiges, aber doch untergeordnetes Glied speist, während die Flüsse an einem minder hohen, meist parallelen Nebenkamme entspringen. Dem Begriffe der durchgreifenden Thäler (§ 273) entsprechend, bezeichnen wir dies als eine durchgreifende Wasserscheide. Entspringt der Fluss auf dem ersten rückwärtigen Nebenkamme, so ist die Wasserscheide einfach durchgreifend; durchbricht er auch diesen und entspringt auf dem nächsten jenseits gelegenen Kamme, so ist sie zweifach durchgreifend u. s. w. In grösstem Massstabe ist diese Form für den Hauptteil des Himalaya charakteristisch, indem dessen Hochgipfelkette von einer Anzahl weiter

nördlich auf minder hohen Zügen entspringender Flüsse durchbrochen wird (s. S. 172).

Eine übermässige Entwicklung des Durchgreifens der Wasserscheiden findet dann statt, wenn ein Strom ein ganzes Gebirge in einem Durchgangsthale (§ 273) durchfliesst und auf einem oder mehreren jenseits gelegenen Gebirgen entspringt. Beispiele sind oben genannt worden. Im Verhältnisse zu dem Gebirge, in welches die Rinne einheitlich eingesenkt ist, hat der Fluss eine zurückliegende Wasserscheide.

Der Typus der durchgreifenden Wasserscheiden, welcher, wie sich bei der Betrachtung der Passübergänge zeigen wird, eine hohe Wichtigkeit für den Verkehr besitzen kann, ist sehr verbreitet. In den Anden Südamerikas findet er sich in steter Wiederkehr bei den nach der Regenseite fliessenden Gewässern. In jedem einzelnen Falle ist die Kammlinie in ihrer wasserscheidenden Rolle durch einen mehr oder weniger komplizierten Bogen abgelöst, welcher den reichlichen Niederschlägen seine konkave Seite zukehrt. Neuere Forschung hat erwiesen, dass einige Flüsse der westpatagonischen Fjordküste in den Vorhügeln der Ostseite des Gebirges entspringen und dieses in seiner ganzen Breite durchbrechen. Das Durchgreifen der Wasserscheiden der zum Amazonas gerichteten Ströme durch die mächtigen Gebirgszüge von Peru und Bolivia ist in hohem Grade auffallend. Wo dann weiter nördlich beide Gehänge der Anden reichliche Regen empfangen, wie in Ecuador, da greifen auch die Wasserscheiden von beiden Seiten hindurch; östliche Flüsse entspringen auf der westlichen, westliche auf der östlichen Kordillere; diese wie jene teilen sich infolgedessen in die einzelnen Strecken des grossen, von beiden Bergrücken eingeschlossenen Thalzuges. In den Alpen sind analoge Fälle vielfach vorhanden, und sie lassen sich in den meisten Faltungsgebirgen wahrnehmen, von denen genaue Karten vorliegen.

Die Entstehung durchgreifender Wasserscheiden ist wahrscheinlich in den meisten Fällen eine Folge des Sieges, welchen der durch Gefälle und Wassermasse begünstigte Strom in dem von G. K. Gilbert als „Kampf um die Wasserscheide" bezeichneten Vorgange über seinen an der entgegengesetzten Seite eines Kammes arbeitenden Nebenbuhler errungen hat (s. oben §§ 67, 72). Es ist selbstverständlich, dass der Vorgang die Bildung von Thalwasserscheiden begünstigt.

c. Wenn man den Gesamtverlauf der Wasserscheide eines Strombeckens betrachtet, so ist dieselbe innerhalb der Gebirge aus Teilstrecken der genannten Arten zusammengesetzt. Ihre Anordnung in jedem einzelnen Gebirge ist (wie schon in § 88 hervorgehoben wurde) ein Resultat aller Vorgänge, welche auf dasselbe seit den Anfängen seiner Entstehung eingewirkt haben, und wurde zum Teile durch Verhältnisse, wie sie in noch früherer Zeit seit der ersten Trockenlegung des betreffenden Landstriches bestanden, beeinflusst. In Tafelländern ist die Anordnung unregelmässig, weil die Beziehungen zur innern Struktur gering sind, und diese in der Regel zu wenige feste Linien besitzt, um den Wandlungen der Wasserscheide örtliche Grenzen vorschreiben zu können. In Abrasionsgebirgen hingegen bieten die Verzweigungen eines Stromsystems oft die Regelmässigkeit von Blattrippen, wobei die ursprüngliche Querfurche die Rolle der Hauptrippe behält. Die einzelnen Teilbecken der Stromsysteme liegen nebeneinander wie Blätter, die mit ihren Spitzen den Kamm des Gebirges erreichen. Bei ihnen herrscht bezüglich der räumlichen Ausdehnung die Querscheide, welche bald noch durch weite Scheitelflächen bezeichnet, bald durch vorgeschrittene Erosion mannigfach und unregelmässig gestaltet ist. Nur wenig beteiligt sich in jedem einzelnen Teilbecken die Hauptkammscheide. An ihr kommt häufig ein Durchgreifen vor, und zwar vollzieht sich dasselbe bei stark asymmetrischem Baue in der Regel von der kurzen Steilseite aus gegen den langgestreckten Abfall hin und auf dessen Kosten.

In ganz anderer Gestalt sind die Strombecken in Faltungsgebirgen eingesenkt. Hier bieten sie die unregelmässigsten Umrisse. Zuweilen sind sie wie ineinander verzackt; in langen Armen greift eines in das andere ein und lagert sich in weiter Ausbreitung über dessen obere Teile hin. Das eine nimmt den Abfluss des Hauptkammes in überwiegendem Masse für sich in Anspruch und greift mehrfach durch ihn hindurch; ein anderes vermag ihn kaum noch mit einer Spitze zu erreichen oder muss ihm überhaupt fern bleiben. Der Kampf um die Wasserscheide hat während der ganzen Geschichte des Gebirges fortgedauert und ist nicht beendet. Je breiter und von je regelmässigerer Anordnung die Faltungszonen sind, desto mehr entwickelt sich an Stelle der fortlaufenden Querscheiden die überspringende Wasserscheide. Daher ist diese für

die regionalen Faltungsgebirge am meisten charakteristisch. Sie folgt einem Längskamme für eine Strecke, setzt dann als Thalwasserscheide quer durch eine Mulde, folgt dem nächsten Parallelkamme bald in der gleichen Richtung wie dem vorhergehenden, bald in der entgegengesetzten, um abermals quer über eine Mulde hinweg nach einem dritten Kamme oder auch nach dem ersten zurückzuspringen. Dies wiederholt sich mit stetem Wechsel. Die Scheiden des Hauptstromes und diejenigen seiner Zuflüsse — alle folgen demselben Prinzipe der Anordnung. Daher findet man hier die am meisten gegliederten Thalzüge, die vollkommenste Zusammengehörigkeit der Trogstrecken, in die jeder von ihnen geteilt ist, die Absonderung von parallelen Thalzügen, welche durch enge Querfurchen mehr von den ersten getrennt als mit ihnen verbunden sind. Dies ist die mehrfach erwähnte Anordnung in den Rostgebirgen des südöstlichen China, im westlichen Hinterindien, im nordwestlichen Himalaya, im Jura, in den Alleghanies.

Der Reisende wird neben den angegebenen Typen der Wasserscheiden noch manche andere finden, deren Erwähnung der Raum nicht gestattet. Was sich bei Gebirgen im grossen vollzieht, das bildet sich zum Teile auch im kleinen aus. Wie die Erosionserscheinungen, so kann auch das Problem der Wasserscheiden überall studiert werden, wo Wasser in zahlreichen, verschiedentlich verteilten und unter verschiedenen Umständen befindlichen Rinnen fliesst. Die Geschichte der Wasserscheiden eines Gebirges ergänzt sich mit derjenigen des innern Baues zur Geschichte des Gebirges selbst. Sie ist daher überall ein wichtiges Studiengebiet.

4) Die Gebirgspässe.

§ 289. Als Pässe, d. h. Stellen des Ueberganges über Gebirgswasserscheiden, dienen dem praktischen Verkehre wesentlich die tieferen Einsenkungen in den Linien der letzteren oder, wenn solche nicht vorhanden sind, diejenigen Teile eines Kammes, nach welchen man aus zwei einander gegenüberliegenden Thalfurchen am bequemsten hinaufsteigen kann. Der Einteilung der Wasserscheiden entsprechend kann man Kammpässe und Thalpässe unterscheiden.

a. Die Kammpässe vermitteln den Uebergang über Hauptkämme oder über Jochkämme. Daher giebt es Hauptkammpässe und Jochkammpässe oder kürzer: eigentliche Kamm-

pässe und Jochpässe. Neben diesem Unterschiede in der Lage bestehen andere in den Formen. Von diesem Gesichtspunkte lassen sich als Haupttypen nennen: der Wallpass, welcher über eine Scheitelfläche führt, der Sattelpass, nach welchem sich die Kammlinie von beiden Seiten allmählich herabsenkt, während das Querprofil eine gerundete oder oben verebnete Wölbung mit meist ungleichmässigem Anstiege von beiden Seiten her darstellt, der Schartenpass, welcher ein ähnliches, wenngleich meist schärfer und winkliger gezeichnetes Längsprofil hat, aber im Querschnitte die Gestalt einer Schneide darbietet; und der Lückenpass, welcher durch einen schroffen und unvermittelten, oft beinahe senkrechten, kerbartigen Einschnitt in die Kammlinie gebildet wird.

Der Wallpass ist denselben Arten von Gebirgen eigentümlich, bei welchen die Scheitelfläche an Stelle des Kammes tritt (s. S. 677, 681), also besonders den unvollständig erodierten Abrasionsgebirgen und Tafelländern. Er kann von geringer, aber auch von sehr bedeutender Breite sein. Fortschreitende Erosion verwandelt ihn je nach der Art und Lagerung des Gesteines entweder in einen Sattelpass oder unmittelbar in einen Schartenpass, sodass diese beiden Formen in demselben Gebirge neben dem Wallpasse vorkommen können. Der letztere ist der vorwaltende Typus in Skandinavien und in den südamerikanischen Anden. Die Unebenheit der Scheitelfläche hebt den Charakter des Wallpasses nicht auf, wenn sie ihn auch modifiziert. Man könnte den Ausdruck Sattelpass dann anzuwenden beginnen, wenn die Einsattlung entschieden ausgesprochen und das Werk der Erosion der am Passe entspringenden Wasserläufe ist.

Der Sattelpass und der Schartenpass sind die normalsten und häufigsten Formen der Gebirgspässe. In den Hauptkämmen, besonders wenn diese dem Schichtenstreichen folgen, haben sie gewöhnlich im Profile der Kammlinie eine symmetrische Gestalt. In den Jochkämmen hingegen ist Asymmetrie des Längsprofils (in der Firstlinie) die Regel, während das Querprofil bei ihnen häufig symmetrisch ist. Dies ist eine Folge ihrer Querstellung zum Streichen der meist schief einfallenden Schichten. Nicht selten sieht man auf einer Seite hoch und schroff aufragende Felswände, während auf der andern die Höhenlinie oder auch eine sanfte Scheitelfläche allmählich ansteigt. In den nördlichen Kalkalpen sind derartige Fälle sehr häufig. Man kann zuweilen

über eine Reihe von Jochkämmen hinweg ein der Gestaltung zu Grunde liegendes System weicher Schichten (z. B. der Kössener oder Raibler Schichten) an der Hand solcher Einschnitte deutlich verfolgen. Wer ein geübtes Auge besitzt, vermag Anhaltspunkte dieser Art bei geologischen Orientierungsaufnahmen zu verwerten und die Einzeichnungen auf der Karte bis zu grösserer Entfernung von seinem Aussichtspunkte auszuführen.

Der Lückenpass ist eine seltene Erscheinung. In transversalen Kämmen, daher besonders in Jochkämmen, entsteht er bei seigerer Schichtenstellung, wenn ein leicht zerstörbares Gestein anderen, die schwer zerstörbar sind, eingeschaltet ist. Es entstehen dann langgezogene Einkerbungen mit senkrechten Wänden, welche der Streichrichtung folgen und sich im Querprofile ausserordentlich scharf zeichnen. Schwer sind diejenigen Lückenpässe zu erklären, welche longitudinale Kämme als enge Gassen quer durchziehen. Man kennt sie in den Pyrenäen. Auch im Rhätikon kommen sie vor. Hier ist der auf S. 696 genannte Entstehungsgrund zu berücksichtigen.

b. Die Thalpässe fallen mit den Thalwasserscheiden zusammen. Ihre Bedeutung ergiebt sich aus dem, was oben (§ 288) über die letzteren gesagt wurde. Besonders tritt sie hervor, wenn die Thalpässe vermöge ihrer Lage die Funktion der unten (S. 695) zu nennenden Wechselpässe erhalten.

5) Die Passübergänge.

Im gewöhnlichen Sprachgebrauche, der sich auf die Ver- § 290.
kehrs- und strategische Geographie übertragen hat, wird der Begriff „Pass“ weiter gefasst, als es für die systematische Orographie zulässig ist, und auf solche Stellen im allgemeinen angewendet, wo infolge physischer Bedingungen der Verkehr aus einem offenern Gebiete nach einem andern in eine enge Gasse gezwängt oder auf eine einzige Linie beschränkt wird. Dies ist z. B. dort der Fall, wo ein Fluss in einer bestimmten Strecke von Felswänden eingeengt wird (wie am „Pass“ Lueg und am „Pass“ Finstermünz). Engpässe solcher Art kommen hier nicht in Betracht. Eine andere Bedeutung des Wortes „Pass“ ist diejenige eines nutzbaren Ueberganges über die Einsattlung an einer Wasserscheide; man pflegt dann die in letzterer gelegene Passhöhe von der die beiderseitigen Anstiege in sich begreifenden Passstrasse zu unterscheiden. In der That

gewinnt ein Pass erst Bedeutung, wenn man ihn als Verkehrsstelle auffasst. Wo immer man grössere Reisen ausführt, hat man Gelegenheit, verschiedene Passübergänge kennen zu lernen. Man sollte dann nicht nur ihre physischen Bedingungen studieren, sondern auch die Ursachen zu ergründen suchen, denen sie ihr natürliches Bestehen, ihre Beschaffenheit und ihre Benutzung im Vorzuge vor anderen Pässen verdanken. Sie erweisen sich bei vergleichender Betrachtung als ausserordentlich verschieden, und doch findet man vielfach gemeinsame Eigenschaften. Es sollen hier nur einige der letzteren insoweit erörtert werden, als sie für grössere Verkehrsstrassen über die Wasserscheiden zwischen verschiedenen Strombecken charakteristisch sind.

a. Ein unmittelbarer Passübergang ist derjenige, welcher unvermittelt über die Achsenkette eines Gebirges hinwegführt. Pässe dieser Art sind in der Regel die schwierigsten und werden selten zur Anlage grosser Verkehrsstrassen benutzt. In heteromorphen Faltungsgebirgen kommen sie gewöhnlich neben Typen anderer Art häufig vor; es gehören hierher diejenigen Uebergänge über die Tauernkette, welche von Norden nach Süden führen, ebenso die Pässe, welche man von der obern Rhone, dem Vorderrhein und dem obern Inn nordwestwärts übersteigt. Unvermittelt werden insbesondere die Rumpfgebirge und Keilschollen überschritten. Daher sind die Fjordküsten fast ausnahmslos vom Hinterlande so vollkommen abgeschieden. Beispiele kleinerer Art geben die deutschen Rumpfgebirge: der Harz, das Erzgebirge, das Riesengebirge, der Schwarzwald und andere. Hier hat man in der Regel die Scheitelfläche von der Steilseite zu erklimmen, um jenseits allmählich und leicht herabzusteigen. Ist aber die Erosionsarbeit in einzelnen Furchen so weit vorgeschritten, dass sie von beiden Seiten in den Kamm eingreift, so werden niedrigere Uebergangsstellen geschaffen. Darauf beruhen die wenigen Verkehrswege, welche die Chinesen immerhin noch mit grosser Schwierigkeit über das Tsinlinggebirge anzulegen vermocht haben.

b. Ungleich bequemer und wichtiger sind die durchgreifenden Passübergänge, welche mit dem Durchgreifen der Wasserscheiden (s. S. 689) zusammenhängen. Der Verkehr sucht daher bei allen Gebirgen, wo sie vorhanden sind, derartige Stellen auf. Sie gewähren den Vorteil, dass man eine Hauptkette überwindet, ohne sie zu überschreiten, indem man, der Sohle der Durchbruchsfurche folgend, nach einem Thale des

jenseitigen Gehänges gelangt. Von ihm aus steigt man über einen Kamm von geringerer Höhe nach dem Ursprunge eines andern Stromsystems, dem man dann abwärts folgt. Es beruht hierauf z. B. die Benützung der Oberläufe von Dora Baltea und Dora Riparia zu Passübergängen.

c. Nur eine Abart des letzten Typus sind die Uebergänge über die Furchenpässe. Die Furche ist eine in das Gebirge quer gegen die Streichrichtung eingesenkte natürliche Strasse. Sie ist von höchster Bedeutung, wenn sie eine wasserscheidende Hauptkette durchzieht. Der Pass liegt zuweilen in der Achse der letztern; aber öfter ist er nach einer Seite von derselben verschoben, indem einer der beiden an ihm entspringenden und voneinander hinweg gerichteten Flüsse grössere Arbeit vollzogen hat als der andere. Dann durchschreitet man, wie z. B. am Brenner, die Kammlinie in einem tief eingesenkten Thale. Derartige Passübergänge gewähren dem Verkehre grosse Bequemlichkeit, aber sie sind im ganzen seltene Erscheinungen.

d. Wenn auch im einzelnen Falle an Bedeutung in der Regel gegen die Furchenpässe, dort wo diese sich finden, zurückstehend, hat doch eine andere Form, welche wir als diejenige der Wechselpässe bezeichnen, in allen eigentlichen Faltungsgebirgen wegen ihrer Häufigkeit und ihrer Benutzung durch die weitaus überwiegende Zahl grosser Verkehrsstrassen eine erheblich höhere Wichtigkeit. Die Kategorie begreift solche Thalpässe, welche die Glieder von zwei Stromsystemen der entgegengesetzten Seiten des Gebirges voneinander trennen. Wenn ein Zufluss des einen mit seinem Quellgebiete durch die Hauptkette hindurchgreift, um die Gewässer einer jenseits gelegenen parallelen Kette an sich zu ziehen, so bildet er in der Regel in dem von beiden Ketten eingeschlossenen tektonischen Längsthale einen Trog. Greift nun ein Fluss des entgegengesetzten Gebirgsgehänges von dort her durch die Nebenkette hindurch, um die Hauptkette zu entwässern, so bildet sein oberes Quellgebiet ebenfalls einen Trog, welcher demselben Thalzuge wie der erste angehört. Ein Verkehrsweg, welcher auf der ersten Seite hinauf und durch die Hauptkette hindurchführt, hat daher nur über eine Thalwasserscheide zu setzen, um den Thalboden des zweiten Troges und von ihm aus eine Furche zu erreichen, in deren Tiefe oder an deren Gehängen er die Nebenkette durchsetzt. In diesem Falle hat die Strasse keinen Kamm zu überwinden.

Ist auch die Natur dieser Passübergänge besonders auffallend, wenn sie das Ueberschreiten einer hohen Achsenkette ersparen, so sind dieselben doch noch weit häufiger in solchen Gebirgen, welche eine eigentliche Achsenkette nicht besitzen, sondern aus zahlreichen parallelen Rücken von wenig verschiedenem Werte bestehen. Im südöstlichen China, wo die meisten Flüsse von der Nähe ihrer Quellen an schiffbar sind und die Fahrstrassen ersetzen, erleichtern die zahlreichen, im Verlaufe der überspringenden Wasserscheiden gelegenen Wechselpässe den Verkehr ungemein. Es gehören hierher viele der wichtigsten Passübergänge in den Apenninen und den Alpen. Liegen auch bei manchen infolge erosiver Vorgänge die Thalwasserscheiden relativ ziemlich hoch, so ist doch der Anstieg zu ihnen mit ungleich geringeren Schwierigkeiten verbunden als die Uebersteigung der Kämme.

Viele anderweitige Beobachtungen über die äussere Gliederung der Gebirge ergeben sich aus dem, was in früheren Abschnitten dieses Buches über die mechanische Arbeit von fliessendem Wasser und Eis, über Seebildung, Thalbildung und innern Gebirgsbau gesagt worden ist. Sie mögen dem Forschungsreisenden in ausgedehntem Massstabe anempfohlen werden. In den bestehenden Lehrbüchern ist wenig Anhalt dazu geboten. Auch hier konnten nur Umrisse und allgemeine Winke gegeben werden; eine ausführliche Darstellung des Gegenstandes liegt ausserhalb des Rahmens des gegenwärtigen Werkes. Die Anordnung der Gebirge und der verschiedenen Formgebilde der Erdoberfläche überhaupt, der Gegensatz, in welchem die grossen Faltungsgebirge zu den aus Rumpfgebirgen, Tafelland und Flachländern bestehenden starren Schollen stehen, die Art der Angliederung eines Gebirges an das andere, welche bald in der Form der Anscharung, bald in derjenigen der Verwachsung und Interferenz geschieht, die Bildung grosser mehrseitig oder allseitig von Gebirgen umrandeter Becken — diese Gegenstände müssten nebst vielen anderen der Erörterung unterzogen werden, wenn Vollständigkeit erreicht werden sollte. Aber diejenigen Winke, welche gegeben worden sind, werden die Aufmerksamkeit des geübten Reisenden von selbst auf die Erwägung einzelner derartiger Probleme richten.

Siebzehntes Kapitel.

Beobachtungen über nutzbare Mineralien.

Der Begriff „nutzbare Mineralien“ ist weit und unbestimmt. § 291.
Ein Erz oder Mineral, welches in einer Gegend von höchstem Nutzen ist, kann in einer andern fast oder ganz wertlos sein. Der Reisende sollte nun zwar überall in weniger bekannten oder unbekannten Ländern seine Aufmerksamkeit diesem Gegenstande zuwenden, da die Möglichkeit. Ergebnisse von praktischer Bedeutung zu gewinnen, häufig vorhanden ist. Aber gleichzeitig sollte er mit Sorgfalt alle Umstände prüfen, welche die Gewinnung und die Verwertung eines Minerals betreffen, um nicht unerfüllbare Hoffnungen zu erwecken oder erfolglose Unternehmungen zu veranlassen. Vorsicht ist besonders denen anzuraten, welche entweder überhaupt nur unbestimmte Vorstellungen von den Bedingungen der Verwertbarkeit besitzen, oder ihre Erfahrungen einem Lande entnehmen, wo Gewinnungskosten, Wert des Minerals und Verfrachtungsmittel in günstigem Verhältnisse stehen. Solchen wird es oft schwer, eine andere Kombination der verschiedenen Bedingungen in richtiger Weise zu würdigen. Ausgezeichnete Kenner haben Missgriffe begangen, wenn sie von einseitiger Erfahrung ausgegangen sind.

Es ist nicht möglich, betreffs der praktischen Gesichtspunkte bestimmte Regeln anzugeben. Eine mässig reiche Erzlagerstätte kann bei schlechten Beförderungsmitteln und grosser Entfernung von dem Orte der Zugutemachung gewinnbringend sein, eine andere noch reichere allein durch den Umstand eines regenlosen Klimas dem Abbaue unüberwindliche Schranken entgegensetzen oder durch die Lage in einer schwer zugänglichen Gebirgsgegend jeden Gewinn ausschliessen. Sind billige

Arbeitskraft, gutes Brennmaterial, Wasserkraft und leichte Beförderungsmittel vorhanden, so ist oft eine arme Lagerstätte noch mit Erfolg auszubeuten. Es ist eben eine Summe von Bedingungen erforderlich, von denen in seltenen Fällen alle einen positiven, häufiger dagegen einige einen positiven, andere einen negativen Wert haben. Oft kann nur die sorgfältigste Berechnung angeben, ob die Gesamtsumme positiv oder negativ ist.

Im folgenden sollen nur die wichtigsten unter den nutzbaren Mineralien in Kürze behandelt werden.

1. Steinkohlenlagerstätten.

§ 292. Wo Steinkohle bergmännisch nicht gewonnen wird, kann nur ein glücklicher Zufall auf ihre Entdeckung führen. Denn selbst wenn man mit Hülfe von Versteinerungen das Vorhandensein der Steinkohlenformation nachweist und sie in einer solchen Weise entwickelt findet, wie sie in anderen Ländern die günstigste für die Führung von Kohle ist, kann man doch einerseits nicht mit Sicherheit auf deren Vorkommen rechnen und andererseits selten hinreichende Aufschlüsse erhalten, um darüber etwas festzustellen. In vielen Ländern haben die Eingeborenen die Eigenschaften der Steinkohle kennen gelernt und beuten sie so weit aus, als ihre einfachen Mittel es erlauben. Gelingt es, die Orte auszukundschaften, wo dies geschieht, so geben sie passende Anhaltspunkte für den einzuschlagenden Reiseweg; denn man darf an ihnen neben der Möglichkeit praktisch wichtiger Erfolge stets allgemein wertvolle geologische Aufschlüsse erwarten, für die es sonst oft schwer ist, einen Fingerzeig zu erhalten.

Kommt man an einen Ort, wo Bergbau getrieben wird, so hat man zuerst den Charakter der Kohle, des Flözes, welches sie führt, und der einschliessenden Schichten zu untersuchen. Ist die Kohle von schwarzer oder schwarzbrauner Farbe, oder giebt sie, wenn sie schwarz ist, beim Zerreiben oder Ritzen ein braunes Pulver? Ist sie fest oder zerfallend, spröde oder mild, mit dem Messer schwierig oder leicht zu ritzen? Hat sie einen muscheligen, splitterigen oder erdigen Bruch? Ist sie in Lagen abgeteilt (schieferig) oder homogen oder spiegelklüftig? Enthält sie Verunreinigungen (erdige oder schieferige Bestandteile, Schwefelkies, dünne Blättchen von Dolomit) oder ist sie frei davon? Brennt sie ohne Flamme und Rauch, oder auch nur mit einer schwachbläulichen, nicht leuchtenden Flamme (in beiden Fällen Anthracit), oder mit schwacher gelber und wenig russender

Flamme (magere Kohle) oder mit langer stark russender Flamme (fette Kohle)? Geschieht beim Verbrennen ein Aufkochen und Zusammenbacken der Stücke (kokende oder backende Kohle), oder verbrennen sie ohne merkliche Aenderung und ohne sich zu vereinigen (Schmiedekohle)? Bleibt viel oder wenig Asche zurück? Ist diese im erstern Falle fein und leicht, oder bleibt sie in Stücken (Klinker)? Brennt die Kohle leicht bei offener Luft, oder bedarf sie eines starken Zuges? Wird am Orte selbst Koks bereitet und wie geschieht dies? Wie sind die Oefen konstruiert, in denen die Eingeborenen die Kohle verbrennen?

Den Charakter des Flözes kann man nur durch Befahren der Grube wirklich kennen lernen. Dies ist oft nicht ausführbar, und man ist auf Ausfragen angewiesen. Die Angaben über die Mächtigkeit lassen sich kontrollieren, indem man die Länge der Grubenhölzer, welche als Stützen dienen sollen, misst. Es fragt sich dann, ob die Kohle in der ganzen Mächtigkeit des Flözes gleich ist oder in den hangenden oder liegenden Teilen einen andern Charakter annimmt. Es ist ferner zu erforschen, ob mehrere Flöze übereinander aufgeschlossen und durch wieviel Zwischenmittel sie voneinander getrennt sind. Man erhält darüber meist unbefriedigende Auskunft, da die angewendeten einfachen Methoden gewöhnlich nur den Abbau eines Flözes durch eine Grube erlauben. Wenn die Flöze unter einem Winkel gegen die Oberfläche geneigt sind, so wird in der Regel eine im Schichtenstreichen gelegene Reihe von Gruben ein Flöz bezeichnen. Findet sich dann in gewissem Abstande eine andere parallele Reihe von Gruben, so sollte man aus der Beobachtung der Schichten zu ermitteln suchen, ob sie ein zweites Flöz, und ob fernere Reihen von Gruben noch andere Flöze bezeichnen, oder ob man es mit Verwerfungen nach der in Fig. 87, 88 (S. 587) dargestellten Art zu thun hat. In Gebirgsgegenden kann man die Flöze oft an Thalgehängen oder an den Wänden von Erosionsfurchen in Schichtendurchschnitten aufgeschlossen sehen. Sie sind dort so verändert, dass man den Charakter der Kohle und die Mächtigkeit nicht beurteilen kann; aber die Frage der Mehrheit der Flöze und ihrer Abstände lässt sich alsdann lösen.

Das Studium der einschliessenden Schichten ist wichtig, teils weil man nur dadurch die geologische Epoche bestimmen kann, welcher die Kohle angehört, teils weil man vermittelst derselben in den Stand gesetzt wird, festzustellen, ob andere

Flöze, die man in derselben Gegend findet, sich mit dem ersten in gleicher Lagerung befinden oder von ihm hinsichtlich der Stellung in der Schichtenreihe verschieden sind. Fast immer sind Steinkohlenflöze von dunklen Schieferthonen, welche aus Schlammabsätzen entstanden sind, begleitet, entweder nur im Liegenden oder im Liegenden und Hangenden, während die einzelnen Flöze mit ihren zugehörigen Schiefern durch Schichten von Sandstein und Konglomeraten voneinander getrennt sind und das oberste häufig noch durch sehr mächtige Folgen meist roter Sandsteine überlagert wird. Die Schiefer führen fast stets Pflanzenabdrücke, diejenigen des Liegenden hauptsächlich die Wurzelstöcke, diejenigen im Hangenden die Stengel und Blätter. Wenn Flöze geringe Mächtigkeit haben, werden zur Erleichterung des Abbaues Teile der hangenden Schiefer, seltener Teile der liegenden mitgefördert und auf Halden gestürzt. Hier hat man sorgfältig nach Pflanzenresten mit deutlich erhaltener Blattnervatur zu suchen, aus denen das Alter der Formation bestimmt werden kann. Es giebt auch Kohlenflöze, welche zwischen Schichten von Kalkstein lagern; doch auch sie sind fast ausnahmslos von Schiefern begleitet. Der Kalkstein wird an der Grenze der Schiefer gewöhnlich mergelig und umschliesst Meereskonchylien, welche eine noch sicherere Altersbestimmung als die Pflanzen erlauben. Besonders wertvoll ist die letztere, wenn die Versteinerungen aus Schichten stammen, die zwischen den Flözen liegen.

Die Steinkohle kann in Schichten von sehr verschiedenem Alter auftreten. Sie fehlt gänzlich den archaischen Formationen und kommt im Silur und Devon so selten und untergeordnet vor, dass man auf ihr Aufsuchen nicht viel Mühe verwenden sollte, wenn Versteinerungen auf diese Altersstufen des Schichtgebirges schliessen lassen. Erweisen sie hingegen diejenige des weit verbreiteten und meist durch Fossilführung gut charakterisierten Kohlenkalkes oder des ihn vertretenden, schwer erkennbaren Kulm, so befindet man sich an der Basis der eigentlichen „produktiven Steinkohlenformation“. Der Kohlenkalk oder Bergkalk ist meist sehr mächtig und bildet ein wichtiges Glied im Baue vieler Gebirgsländer. Er führt zuweilen Steinkohlenflöze, die aber meist von untergeordneter Bedeutung sind. Erst die Sandsteine und Schieferthone, welche sich oft viele tausend Fuss mächtig über ihn lagern, enthalten weitaus den grössten Teil des Steinkohlenreichtums der Erde. In einigen Ländern zerfallen sie in die zwei

deutlich getrennten Glieder des Karbon und des Rotliegenden, in anderen bilden sie eine kontinuierliche, untrennbare Reihe. Wegen ihrer leichten Zerstörbarkeit sind sie über weite Landstriche den denudierenden Agentien vollständig unterlegen und haben den Kohlenkalk als Oberflächengebilde zurückgelassen. Bei horizontaler Lagerung sind sie erhalten, wenn andere Schichtgesteine oder schützende Decken von Eruptivgesteinen oder festen Konglomeraten sich darüber ausbreiteten, oder wohl auch, wenn das aus Karbon bestehende Tafelland sich dauernd in relativ tiefer Lage befand. Wo hingegen die steinkohlenführenden Schichten an den Faltungen und Verwerfungen der Gebirge teilnehmen, wurden einzelne Teile von ihnen stark exponiert und durch Denudation leicht entfernt, während andere, und zwar besonders die Muldenteile der Falten, in tiefe und geschützte Lage kamen. Man findet daher das produktive Karbon in der Mehrzahl der Fälle in muldenförmiger Lagerung, welche die Auffindung und Untersuchung ebenso wie den Abbau erschwert.

Alle Sedimentformationen, welche jünger als Karbon sind, können Steinkohlenflöze enthalten. Lias und Jura sind oft reich daran und scheinen, nach den aus den fossilen Pflanzenresten gezogenen Schlussfolgerungen, in dem vom Himalaya bis zum südlichen Australien gelegenen Teile der Erde diejenigen Zeitalter darzustellen, welche der Bildung von Steinkohlenflözen am günstigsten waren. Auch in der Kreideepoche sind solche von guter Beschaffenheit abgelagert worden, z. B. in Japan und an der Westküste von Amerika. Das Tertiär umschliesst sehr häufig Flöze von Braunkohle, die aber auch von Bedeutung sein können.

Ein durch Kohlenflöze ausgezeichnetes Gebiet wird innerhalb der Grenzen, in welchen dieselben kontinuierlich verbreitet sind, als ein Kohlenfeld bezeichnet. Ein Grubenfeld nennt man ein solches Gebiet, in welchem eine räumlich zusammengehörige Gruppe von Grubenwerken gelegen ist. Oft sind mehrere weit voneinander getrennte Grubenfelder innerhalb eines Kohlenfeldes gelegen und voneinander durch solche Teile des letzteren getrennt, in welchen ein Abbau wegen der Kosten, welche er verursachen würde, nicht stattfindet.

Wo immer der Reisende Steinkohle findet, sollte er sich bestreben, eine genaue Aufnahme des Kohlenfeldes herzustellen. Die Arbeit wird wesentlich erleichtert, wenn Grubenwerke Aufschluss über die Lagerung geben. Mit Kompass, Bleistift und

Papier verfolgt man die Lagerung bis zu den Grenzen gegen ältere Formationen, wenn sich diese feststellen lassen, und verfertigt eine Skizze von dem gesehenen Teile des Kohlenfeldes, sowie Entwürfe der Lagerungsverhältnisse, mit genauer Einzeichnung aller Streichrichtungen und Fallwinkel. Der einfachste Fall ist gegeben, wenn kohlenführende Schichten ungestört in einer von älteren Gesteinen im Halbkreise begrenzten Bucht gelagert sind. Besonders findet man tertiäre Braunkohle, sowie überhaupt jüngere Kohle, häufig unter solchen Verhältnissen. Zuweilen sind es nur kleine Becken, zuweilen sind sie von ausserordentlicher Grösse (wie das gegen 4500 deutsche Quadratmeilen umfassende, aus der Juraepoche stammende Steinkohlenbecken der Provinz Sz'-tshwan in China). Durch Auseinandertreten der beiden Flügel entstehen Uebergänge dieser Buchteinlagerungen in solche Kohlenfelder, deren Schichten einem Gebirge vorliegen und demselben angelagert sind, und endlich in solche, welche eine ganze Mulde zwischen zwei Gebirgen ausfüllen. Grössere Schwierigkeit bietet sich der Untersuchung, wenn durch nachträgliche Störungen die kohlenführenden Schichtensysteme Verwerfungen und Faltungen erfahren haben, von Eruptivgesteinen durchbrochen und zum Teile durch Erosion fortgeführt sind. Die Kohlenschichten werden dann zu Nebenzonen von Faltungsgebirgen aufgebogen oder bilden welliges Land zwischen zwei Gebirgen, oder sind hier und da in einem, zwischen anderen Schichtgesteinen eingeklemmten und hoch aufgerichteten Fragmente einer alten Buchteinlagerung mitten in Gebirgen anzutreffen. Solche Umstände sind von der grössten Wichtigkeit für die Bestimmung des ökonomischen Wertes des Kohlenfeldes. Wissenschaftliche Ausbeute erhält man oft am reichsten von solchen Lagerstätten, welche nur einen untergeordneten praktischen Wert haben; es sollte daher keine ihrer geringen Bedeutung wegen übersehen werden.

Der ökonomische Wert eines Kohlenfeldes hängt ausser von der Lagerung und der Beschaffenheit der Kohle auch von der geographischen Lage ab. Wo Bergbau stattfindet, ist es von Interesse zu wissen, wie weit das Produkt gegenwärtig verführt wird und wie weit es bei Verbesserung der Verkehrsmittel verführt werden könnte. Die Entfernung nach einem Hafenplatze oder einem schiffbaren Flusse sollte stets erfragt und die Gelegenheit zur Anlage vollkommenerer Beförderungsmethoden erforscht werden. Auch sind Angaben über die beim Bergbaue

angewendeten Methoden, die Mittel zur Förderung und Wasserhebung, den Betrag der täglichen Förderung, die Kosten derselben, die Höhe des Tagelohns, die Preise der Materialien stets erwünscht; sie müssen sofort in das Notizbuch eingetragen werden. Man kann damit unmittelbar die Untersuchung über die Möglichkeit der Einführung eines vervollkommneten Betriebes verbinden.

2. Erzlagerstätten im festen Gesteine.

Der Reisende sollte nie unterlassen, zu erfragen, woher § 293.
das Eisen, Kupfer, Blei, Zink, Silber, Gold, das die Eingeborenen anwenden, bezogen wird. Nur nach oft wiederholter Erkundung kann er einigermassen sichern Aufschluss bekommen. Ergiebt sich daraus, dass er Gelegenheit hat, eine Erzlagerstätte zu besuchen, so sollte er sie nicht versäumen.

Manche gehen in wenig bekannte Länder mit der Erwartung, neue, auch den Eingeborenen nicht bekannt gewesene Lagerstätten von Erzen und Mineralen zu entdecken. Betreffs der Steinkohle kann es allerdings gelingen, wenigstens sichere Spuren ihres Vorkommens und gegründeten Anhalt für Schürfung zum Zwecke der Prüfung der Abbauwürdigkeit zu finden. Hinsichtlich der Lagerstätten von Metallen aber wird dies nur in äusserst seltenen Fällen sofort der Fall sein. Der „eiserne Hut", welcher aus den zersetzten Massen am Ausgehenden der Erzgänge besteht und dem Kundigen dieselben anzeigt, während er sie dem Unkundigen verbirgt, ist in vegetationslosen Felsgebirgen oft weithin kenntlich; man sollte dann die Mühe nicht scheuen, die unscheinbaren, rostbraun gefärbten Bestandteile desselben genau zu untersuchen; aber in der Regel ist er durch Pflanzenwuchs oder Erdboden vollständig verhüllt. Zufällige Funde im Schutte leiten oft zuerst zu der Auffindung von Erzspuren. Sucht man ihren Herstammungsort auf, so kann es gelingen, eine Erzlagerstätte zu entdecken. Aber dies ist schwierig und setzt Erfahrung voraus. Uebung darin haben sich die sogenannten, meist wissenschaftlich ganz ungebildeten „Prospektors" von Kalifornien, den amerikanischen Weststaaten überhaupt und Australien auf rein empirischem Wege in einem oft bewunderungswerten Grade erworben, und sie sind im Allgemeinen am erfolgreichsten, was neue Funde in jenen an kahlen Stellen sehr reichen Gegenden betrifft. Aber vieles entgeht auch ihrem Blicke. Ueberall bereitet sorgfältige geologische

Erforschung am besten und sichersten die Wege, um im Laufe der Zeit die Lagerstätten von Mineralen und Erzen aufzufinden. Insbesondere hilft sie dazu, die Gebiete, in welchen man nach Erzen oder Kohlen suchen kann, räumlich einzuschränken, dagegen diejenigen, in denen jedes Suchen aussichtslos sein würde, von vornherein auszuschliessen. Leuchtet auch, z. B. bei neuem Kolonialbesitze, der Vorteil einer kostspieligen geologischen Erforschung und Kartierung nicht sofort ein, so kann sie doch nicht allein durch unmittelbare Auffindung des Nutzbaren praktischen Erfolg haben, sondern auch insbesondere durch die angedeutete räumliche Beschränkung des für Bergbau in Betracht zu nehmenden Areals einen weit grössern Betrag von Kosten, als sie selbst verursacht, ersparen. Man gewinnt durch sie eine feste Grundlage. An ihrer Hand kann man gleichsam bei Tageslicht suchen, während man ohne sie auf das Tappen im Dunkeln angewiesen bleibt.

Eisenerze sind besonders wichtig, wenn sie in einer steinkohlenführenden Formation auftreten. Sie halten sich dann gewöhnlich an schieferig-thonige Einlagerungen, denen sie in kleineren oder grösseren Nestern inneliegen; seltener bilden sie fortlaufende Lager. *Thoneisenstein* und *Brauneisenstein* walten unter solchen Verhältnissen vor. Es ist die Art der Verteilung, die relative Menge des Erzes und seine Qualität zu untersuchen. Belegstücke sollten sowohl von den besten Sorten als von den an Masse vorwaltenden gesammelt werden. Eine beachtenswerte Form des Vorkommens findet sich häufig an der Grenzfläche von Kalkstein und überlagernden thonigen Gebilden. Es wurde in § 45 der eisenhaltigen Massen gedacht, welche Vertiefungen des zu Tage anstehenden Kalksteines ausfüllen. Man beobachtet sie in ähnlicher Weise, aber zu weit reicheren Erzen konzentriert und in viel grösseren Ansammlungen, wo klastische Sedimente den Kalkstein überdecken. Die Oberfläche des letztern ist dann stark zerfressen; in grossen unregelmässigen Höhlungen liegen Eisenerze mit bunten Thonen. Man sollte untersuchen, ob sie ihre Entstehung der Auflösung und Fortführung eines Teiles der Kalksteine verdanken. Wertvoll sind derartige Vorkommnisse besonders, wenn sie an der obern Fläche des Bergkalkes auftreten und steinkohlenführende Schichten darüber lagern. Die Thone können dann für Verhüttungsprozesse Wichtigkeit haben. — *Magneteisenstein* und *Roteisenstein* bilden Lagerstätten von grossartigem Umfange,

vorwaltend in kristallinischen Schiefern. Bei ihnen sind die folgenden Punkte zu berücksichtigen: Welches sind die begleitenden Gesteine? (Es ist besonders auf Hornblendeschiefer, Chloritschiefer, kristallinischen Kalkstein und Serpentin zu achten.) Finden sich massive Erzkörper in regelmässigen Zwischenlagern (Mächtigkeit, Anzahl, Fallen und Streichen, Art der trennenden Mittel) oder in mächtigen, linsenförmigen oder stockförmigen Massen (Ausdehnung derselben)? Wie verhält sich deren längste Achse zum Streichen und Fallen der Schichten? Sind die Nebengesteine von Erzen imprägniert (Falbänder)? Welche Mineralien finden sich als Verunreinigungen in den Erzkörpern? — *Eisenkies* tritt, abgesehen von seinem überaus häufigen untergeordneten Vorkommen, in sehr ausgedehnten Zwischenlagern und Reihen ungeheurer Linsen in Thonschiefern und Glimmerschiefern auf. Er wird zur Darstellung von Eisen nicht verwendet, ist aber in dieser Art des Auftretens in neuerer Zeit durch den gewöhnlich vorhandenen geringen Gehalt an Kupfer zu einem wichtigen Erz für die Gewinnung dieses Metalles geworden (besonders in Südspanien). — *Spateisenstein* findet sich gleich den genannten Erzen, in Gestalt grosser Einlagerungen in den älteren Formationen. Die Entstehungsweise dieser verschiedenen mächtigen Erzkörper ist ein noch ungelöstes Problem. — Auch der *Raseneisenstein,* welcher sich unter dem Einflusse der Vegetation an sumpfigen Stellen bildet, ist zuweilen von Bedeutung.

Die anderen Metalle kommen, mit Ausnahme einiger nicht unwichtiger Kupfererzlagerstätten, vorwaltend auf Erzgängen vor, d. h. in Spalten, welche verschiedene Gesteine durchsetzen und auf dem Wege chemischen Niederschlages, insbesondere, wie es scheint, durch Auslaugung des Nebengesteines, durch Sublimation von unten und durch aufsteigende Thermalwasser, ausgefüllt worden sind. Ihre Bildung hängt in der Regel mit Vorgängen zusammen, welche das Aufsteigen von Eruptivgesteinen durch andere Spalten zur Folge hatten. Das Studium der letzteren in Erzdistrikten wird dadurch besonders wichtig; denn allgemeine Schlüsse lassen sich erst aus der Ansammlung zahlreicher Thatsachen ziehen. Da die jüngsten Schichtgebilde auch nur von den jüngsten Eruptivgesteinen, die älteren aber von denen verschiedener Zeitalter durchbrochen werden konnten, so ist es wahrscheinlich daraus zu erklären, dass, je älter eine Formation, desto grösser im allgemeinen ihr Reichtum an Erzgängen und die Mannigfaltigkeit derselben ist.

Bei dem einzelnen Erzgange ist zu untersuchen: das Streichen und Fallen, die Mächtigkeit in verschiedenen Teilen, ferner die Grenze gegen das Nebengestein; das Gangmittel kann scharf gegen dasselbe abgegrenzt sein und ist dann gewöhnlich durch eine dünne, lettige Lage (Besteg) davon getrennt, oder es kann (und dies ist oft am Hangenden der Fall) allmählich in dasselbe übergehen, indem zahlreiche Bruchstücke des Nebengesteines dem Gangmittel inneliegen, und das letztere in zersetzte Massen von jenem eingreift oder sich in kleinen Gängen und Schnüren hinein verzweigt. Es kann dann eine Zertrümmerung des Hangendgesteines durch Gleitung vorliegen, wie dies in Fig. 96 auf S. 592 dargestellt ist. Ueberhaupt ist jeder Gang auf die Verschiebung der beiden einschliessenden Gesteinskörper zu untersuchen. Dieselbe liegt, da grosse Bruchflächen stets uneben sind, der Erscheinung zu Grunde, dass eine Gangspalte Stellen der Erweiterung und der Verengung hat und sich an anderen Stellen vollkommen schliesst. — Es ist ferner das Gangmittel zu untersuchen, ob es Quarz, Kalkspat, Eisenspat, Flussspat, Schwerspat oder nur Erz ist; ferner die Erzverteilung: sind die Erze eingesprengt oder in abwechselnden, den Seitenwänden parallelen Lagen angeordnet, und wie ist die Aufeinanderfolge? Finden sich hohle, mit Drusen bekleidete Räume, und wie folgen in diesen die Mineralien aufeinander? Selten ist ein Gang in seiner ganzen Ausdehnung in gleicher Weise von Erzen erfüllt, sondern wenn man einen horizontalen Querschnitt durch den Gang legt, wechseln in gewissen Entfernungen erzarme und erzreiche Mittel. Es hat sich an vielen Gängen gezeigt, dass die reichen Mittel einzelne Erzkörper darstellen, welche in schiefer Richtung nach der Tiefe ziehen. Der Abbau wird darüber Aufschluss geben. Ebenso hat sich oft gezeigt, dass die Erzführung aufhört oder sich ändert, wenn der Gang in ein anderes Gestein übersetzt; auch darüber sind Thatsachen zu sammeln.

Wo mehrere Gänge vorhanden sind, hat man ihre Anordnung zu untersuchen; namentlich ist festzustellen, ob sie sämtlich in ihren Flächen einander parallel gerichtet sind oder ob sie einzelne, verschieden streichende Systeme paralleler Gänge darstellen, ob sich die Gänge kreuzen und an den Kreuzungsstellen Anreicherung des durchsetzenden Ganges stattfindet, oder ob sich zuweilen zwei Gänge miteinander vereinigen (scharen) und ob dies auf die Erzführung von Einfluss

ist. Auch ist zu beachten, ob sich verschiedene Gänge oder Gangsysteme nach Gangmittel und Art der Erze voneinander unterscheiden. Aus dem Studium der Eruptivgesteine der Umgebung wird sich ergeben, ob die Wahrscheinlichkeit vorliegt, dass verschiedene derselben mit verschieden gerichteten Mineralgängen in genetischer Verbindung stehen. Bei einem Systeme paralleler Gänge wird in der Regel Staffelbruch (§ 257) vorliegen.

Gold findet sich vorwaltend auf Quarzgängen, welche in Formationen jeden Alters, am meisten aber in den archaischen und metamorphisch kristallinischen Schiefern auftreten. Es ist meist an Eisenkies gebunden und kommt vielfach mit Erzen von Kupfer, Blei, Silber etc. zusammen vor. Gänge, welche wegen ihres Goldgehaltes abbauwürdig sind, treten nicht vereinzelt auf, sondern sind regionenweise angeordnet. Gelingt es, einen zu entdecken, so kann man daher die Untersuchung mit Aussicht auf Erfolg fortsetzen. Im Ausgehenden findet man das Gold in der Regel in freier Ausscheidung, in der Tiefe ist es zwar auch in gediegenem Zustande vorhanden, aber grösstenteils an Eisenkies oder andere Erze gebunden. Hat man sichere Prüfungsmittel, z. B. ein Lötrohr, nicht zur Hand, so kann man sich behufs der Erkennung daran halten, dass, sobald man bei Anblick eines gelben, glänzenden Metalls im Zweifel ist, ob es Gold sei, dasselbe sicher Gold nicht ist; denn wo man dieses wirklich sieht, ist man nie im Zweifel. Doch gilt letzteres keineswegs umgekehrt. Eine rohe Prüfung des Goldgehaltes kann man vornehmen, indem man ein Stück Gangquarz mit einem Quarzkiesel auf einem grössern Gesteinsblocke zerschlägt und zu Pulver zerreibt und dieses in einer Pfanne oder einem Hornlöffel auswäscht. Durch geschickte Manipulation kann man das Gold an einer Stelle am Boden des Gefässes ansammeln. — Goldfunde können dadurch wichtig werden, dass sie Ansiedler anlocken, welche bald zu anderen Zweigen des Erwerbes greifen. Es giebt nur noch wenige Länder, deren Inneres so unerforscht ist und von einer so primitiven Bevölkerung bewohnt wird, dass man noch die Entdeckung an sich besonders wertvoller Goldschätze, d. h. solcher Lagerstätten, welche bei leichtem Abbaue grossen Gewinn geben, als möglich erachten kann.

Silbererze haben vielfach verschiedenes Vorkommen, meist in Verbindung mit zahlreichen anderen Erzen. Die Haupt-

masse des Silbers wird jedoch aus Gängen gewonnen, die in Propylit aufsetzen (§ 244); sie stehen anscheinend in genetischer Verbindung mit Ausbrüchen von Rhyolith oder Trachyt. Es wäre von Interesse, zu erfahren, inwieweit die Silbererzgänge von Mexiko und Peru dieser Art des Vorkommens angehören. Gänge im Propylit sind oft sehr mächtig und enthalten ausserordentlich grosse Erzkörper. Silbererzgänge in Kalkstein sind meist unregelmässig, indem sie mit dem reichsten Erze erfüllte Weitungen enthalten, die durch schmale Schnüre verbunden sind. Regelmässige, aber meistenteils weniger wichtige Silbererzgänge finden sich in allen älteren Formationen.

Vielfach wird Silber aus Bleierzen gewonnen, besonders wo diese auf Gängen vorkommen. Bleierzgänge sind allent halben häufig, aber nur eine verhältnismässig geringe Zahl von ihnen ist abbauwürdig. An vielen Orten finden sich in Kalksteinen verschiedener Formationen Putzen und Nester von Bleiglanz, und stellenweise wachsen diese zur Ausfüllung grosser Hohlräume an; sie sind dann unregelmässig durch das Gestein verteilt und durch Schnüre verbunden. Gewöhnlich ist der Bleiglanz mit Zinkblende und anderen Schwefelmetallen vergesellschaftet.

Kupfer erreicht seine grösste technische Bedeutung im Kupferkiese, der gewöhnlich mit Eisenkies verbunden ist und in sehr grossen Massen auftritt. Das Vorkommen ist demjenigen der Lagermassen des Eisenkieses ähnlich. Kupfererzgänge sind ebenfalls häufig und zuweilen sehr wichtig, stehen aber im ganzen an Bedeutung hinter jenen grossartigen Anhäufungen zurück. Man hat sich betreffs dieser Metalle besonders vor vorschnellen Schlüssen zu hüten. Nicht selten trifft man ausserordentlich reiche Kupfererze, findet aber bei näherer, oft sehr kostspieliger Untersuchung, dass sie in zahlreichen zerstreuten, äusserst unregelmässigen und nicht abbauwürdigen Gängen von geringer Mächtigkeit vorkommen. Kühne Hoffnungen und grosse Spekulationen sind durch diese Truggebilde angeregt und vernichtet worden.

Zinnerz tritt in der Regel in sogenannten Stockwerken auf. Das Gestein (gewöhnlich Granit, in Japan Sandstein, in Nordmexiko angeblich Trachyt) ist entlang gewisser Richtungen von kleinen Schnüren durchschwärmt, welche Zinnerz nebst anderen Mineralien führen.

Quecksilbererze (Zinnober) haben die unregelmässigste Verteilung. Das Gestein, in dem sie aufsetzen, ist gewöhnlich

von kleineren Gängen und Gangtrumen durchzogen, zwischen denen sich hier und da eine grössere Anhäufung des Minerals findet. Die ausgedehnteste und reichste Quecksilberregion der Erde scheint diejenige zu sein, welche die chinesische Provinz Kwéi-tschóu durchzieht und sich bis nach Yünnan erstreckt. Sie ist noch ununtersucht. Ueberhaupt bietet dieser südwestliche Teil von China ein vielversprechendes Gebiet für die Forschung über Erzlagerstätten, indem er einen grossen Reichtum an Kupfer, Zinn und Zink birgt, auch Gold, Silber und Blei dort gewonnen werden kann.

Die Orte, an welchen Erzbergbau, insbesondere auf Gängen, betrieben wird, sollten stets auch im Hinblicke auf das Vorkommen gut kristallisierter oder seltener Mineralien untersucht werden, da dieselben sich hier am meisten finden und in grösster Menge an die Oberfläche gefördert werden. Doch kann man auf diesem Gebiete ohne Spezialkenntnisse nicht mit Erfolg sammeln. Wer sie besitzt, bedarf keiner Anleitung.

Unter den verschiedenen Gesichtspunkten, welche sich von geologischer Seite bieten, möge hier nur auf einen hingewiesen werden. Aus vielfachen Untersuchungen scheint es hervorzugehen, dass diejenigen Gegenden, wo jungeruptive Gesteine zum Ausbruche gelangten, meistenteils auch in früheren Perioden der Erdgeschichte der Sitz einer Ausbruchsthätigkeit gewesen sind. Nach dem eben Gesagten ist die Entstehung von Erzgängen an das Auftreten von Eruptivgesteinen gebunden. Nun giebt es Gegenden, in denen die mit dem Ausbruche der jungeruptiven Gesteine verbundenen Vorgänge anscheinend nicht vermocht haben, Erzgänge hervorzubringen, und solche Gegenden besitzen überhaupt wenige oder keine Erzgänge, indem auch die früheren mit Gesteinsausbrüchen verbunden gewesenen Ereignisse ihre Bildung nicht veranlasst haben. Dagegen giebt es andere Länder (z. B. der Innenrand der Karpathen und fast die gesamte Zone der Anden von Nord- und Südamerika), wo der Vulkanismus der Tertiärzeit ausserordentlich reiche Erzgänge hervorgerufen hat. In solchen Ländern ist auch die Ausbruchsthätigkeit früherer Zeiten mit der Entstehung bedeutender Erzlagerstätten verbunden gewesen. Ob dies ein allgemein geltendes Gesetz ist, muss weitere Beobachtung entscheiden. Die Bildungszeit der einzelnen Erzgänge festzusetzen, ist die dazu notwendig zu lösende Aufgabe. Das Gesetz bezieht sich nicht in derselben Form auf solche Gegenden, wo jungeruptive Gesteine nicht auftreten.

3. Erzlagerstätten im Schwemmlande.

§ 294. Wenn die Erze durch denudierende Agentien von den Lagerstätten im festen Gesteine, auf welchem sie räumlich eng begrenzt und konzentriert auftreten, hinweggenommen und den Schwemmgebilden überliefert werden, so wächst das Gebiet ihrer Verbreitung ungemein an. Sie werden in zertrümmertem Zustande zum Teile als feinkörniger Sand den Schichtgebilden einverleibt. Je gleichmässiger dies stattfindet, desto mehr schwindet die Möglichkeit ihrer technischen Ausbeutung. Allein, wie die die Verhüttung vorbereitenden Prozesse darauf beruhen, die Erze mit ihren Gangmitteln zu feinem und gleichmässigem Korne zu zerstampfen, um dann die ersteren von den letzteren mit Benutzung ihres höhern spezifischen Gewichtes durch verschiedene Methoden der Aufbereitung auszuscheiden, so bedingt auch in der Natur jener Unterschied des spezifischen Gewichtes eine Aufbereitung der feinkörnig zerriebenen Massen, wenn sie den auf alle Teile mit gleicher Kraft einwirkenden bewegenden Agentien, insbesondere denen des fliessenden Wassers, der Brandungswelle und der strömenden Luft, unterworfen werden. Dieser Vorgang der Seigerung ist als ein wichtiges Moment der physischen Geographie bereits an verschiedenen Stellen (z. B. §§ 83, 154, 195) besprochen worden. Hier kommt er insoweit in Betracht, als bei der Sonderung nach spezifischem Gewichte und Korngrösse die schweren Bestandteile sich ansammeln und die Erze zuweilen eine Konzentration erreichen, welche derjenigen in Gängen gleichkommt oder sie selbst noch übertrifft. Dies gilt insbesondere von den schwersten Metallen und Erzen, wie dem Platin, welches seines seltenen Vorkommens wegen hier übergangen werden mag, dem Golde und dem Zinnsteine. Ist auch in jedem Falle das Mass der bewegenden Kraft verschieden, welches erforderlich war, um das Gestein fortzuschaffen, die metallischen Bestandteile aber liegen zu lassen, so sind doch im allgemeinen die in Gebirgen gelegenen alten Flussbetten am geeignetsten gewesen, die Ansammlung der schweren Massen in sich aufzunehmen; denn da im Gebirgsbereiche der Ströme die Kräfteverteilung einem häufigen Wechsel unterworfen ist, so finden sich immer einzelne Stellen, welche für eine mehr oder weniger vollkommene Seigerung bei gewisser Korngrösse geeignet waren.

Goldführende Schwemmgebilde sind weit verbreitet. Besonders finden sie sich dort, wo Flussbetten in kristallinisches Gebirge eingesenkt sind und unterhalb solcher Stellen. Am

vorteilhaftesten für lokalisierte und konzentrierte Ansammlung ist der Erosionskanal (§ 66), besonders wenn er quer gegen das Streichen steilstehender kristallinischer Schiefer gerichtet ist. Die verschiedene Härte derselben bedingt zahllose Unebenheiten des Strombettes; oberhalb jedes durch eine härtere Schicht veranlassten Riegels vollzieht sich die Auswirbelung eines kleinen Beckens im weichen Gesteine (§ 78). Hier können die grösseren Goldkörner sich beständig ansammeln und die Ansammlung sich erhalten und vergrössern, wenn durch fortschreitende Erosion die Aushöhlung an derselben Stelle und in derselben Schicht nach stetig wachsender Tiefe verlegt wird. Diese durch Aufnahme grösserer Goldklumpen ausgezeichneten, sogenannten „pockets“ des kalifornischen Goldgräbers finden sich anderwärts unter ähnlichen Verhältnissen, wenn auch selten von ähnlichem Reichtume, wie sie dort vorgekommen sind.

Das unebene Felsbett im Erosionskanale hält auch kleine Goldteilchen in Menge fest; doch wechseln dieselben mit fortschreitender Vertiefung des Bettes ihre Lage und werden aus den Strudellöchern bei Hochwasser herausgewirbelt. Sie gelangen in das Gebiet, in welchem die Schotter sich ablagern, und werden mit diesem bei Hochwasser weitergetrieben. Das am feinsten verteilte Gold wird oft weit hinabgeschwemmt und sammelt sich gern in den Höhlungen konstanter Schotterbänke. Im Hanflusse in China wird jährlich bei niederm Wasserstande derselbe Schotter nach Gold durchwaschen. Solange er im Flusse bleibt, fängt er bei jedem Hochwasser neue Mengen auf: entfernt man ihn, so wird kein Gold mehr abgelagert.

Man wird kaum irgendwo so günstigen Verhältnissen begegnen wie in Kalifornien, wo in einem aus kristallinischen Schiefern bestehenden, von goldreichen Quarzgängen an vielen Stellen durchsetzten, von der Brandungswelle abradierten und nachher einer Tiefenzersetzung (§ 48) unterlegenen Gebirge alte längst verlassene Strombetten quer über die breiten Jochrücken ziehen, welche die in späterer Zeit tief eingeschnittenen Erosionsquerfurchen voneinander trennen und überdies die mächtigen Schotterablagerungen der ehemaligen Ströme durch darübergelagerte Decken von vulkanischem Schlamme vor Zerstörung geschützt worden sind. Hier hat man das Gold 1) aus den Quarzgängen, 2) aus dem Gehängeschutte, in welchem das zerfallene reiche Ausgehende der Gehänge verteilt war, 3) aus den Betten der jetzt strömenden Flüsse und 4) aus den ge-

nannten verlassenen Strombetten gewonnen. Die leicht cementierten Schottermassen der letzteren, welche nur in ihrem tiefsten Teile abbauwürdig waren, wurden durch Sprengmittel gelockert und durch die Kraft von Wasserstrahlen, die unter hohem hydraulischen Drucke standen, fortgespült. Die hier gesammelten Erfahrungen können zum Anhalte dienen, um andere ähnliche, wenn auch weniger günstige Verhältnisse des Vorkommens aufzufinden und technisch zu benutzen.

Weitaus die Mehrzahl der Lagerstätten des Goldes ist so arm, dass sie nicht ausgebeutet werden. Wo man sie bearbeitet, hat oft die Thatsache der Gewinnung von Gold zu der Vermutung geführt, dass das betreffende Land reich an diesem Metalle sein müsse. Doch wird sich der sorgfältige Reisende überzeugen, dass der Gewinn in der grossen Mehrzahl der Fälle geringer ist als der Tagelohn in derselben Gegend. Häufig beschäftigen sich die Eingeborenen mit Goldwaschen nur in der Jahreszeit, in welcher die Feldarbeit ihnen nicht genügenden Verdienst gewährt, und werden durch die kleine Ausbeute an edlem Metalle gerade nur in den Stand gesetzt, ihr Leben zu fristen. Man sollte in solchen Fällen untersuchen, ob der Grund des geringfügigen Gewinnes in der Anwendung unvollkommener Methoden liegt. Durch Benutzung der Kraft schnell strömenden Wassers an Stelle der menschlichen Arbeit kann man gewiss häufig, auch ohne sich zu den grossen hydraulischen Anlagen Kaliforniens zu versteigen, die Kosten verringern. Es ist daher bei der Untersuchung von goldführenden Ablagerungen darauf zu achten, ob die Einführung einer solchen Kraft möglich sei, und wenn dies der Fall ist, ob die Kosten und Schwierigkeiten im Verhältnisse zu dem Reichtume der Ablagerung stehen. Wer Uebung hat, kann aus der Menge des Goldes, das in je einer Pfanne von bestimmtem Inhalte aus dem von verschiedenen Stellen entnommenen Boden ausgewaschen wird, den Goldgehalt der Ablagerung mit annähernder Richtigkeit in Zahlen ausdrücken. Den Schwankungen derselben muss dabei Rechnung getragen werden.

Zinnführendes Schwemmland kommt in einzelnen Gegenden vor. Der Zinnstein findet sich darin in runden Körnern von verschiedener Grösse. Die Auffindung neuer Lagerstätten von Schwemmzinn, welche gewöhnlich auch zur Entdeckung des Ursprungsortes führt, wäre von bedeutendem praktischen Interesse.

Eisenführendes Schwemmland ist so weit verbreitet als das Schwemmland selbst. Doch ist das Eisenerz (Magneteisenstein, Titaneisenstein und Roteisenstein) selten so konzentriert, dass es technisch abbauwürdig ist. Der Gegenstand verdient mehr Berücksichtigung als er bisher erfahren hat.

4. Andere nutzbare Produkte des Mineralreiches.

Ausser den Steinkohlen und den Erzen, auf welche der Blick des Reisenden sich in erster Linie richtet, wenn er mit den geologischen Beobachtungen praktische Ziele verbindet, birgt das Mineralreich noch eine Reihe anderer Produkte, welche unter günstigen Umständen über den eigenen Bereich ihres Vorkommens hinaus nutzbar gemacht werden können. Auch wenn dies in unmittelbarer Aussicht nicht steht, sollte man sie beachten, zumal ihr Vorkommen stets auch ein wissenschaftliches Interesse bietet. Einen Anhalt geben auch hier zunächst diejenigen Mineralstoffe, welche in der Industrie des bereisten Landes und im täglichen Leben Verwendung finden; man sollte deren Fundorte und natürliches Auftreten kennen zu lernen suchen. § 295.

Edelsteine haben ihre ursprüngliche Lagerstätte im festen Gesteine und sind in diesem meist sehr sporadisch zerstreut, sodass ihre Gewinnung aus demselben schwierig und kostspielig ist. Dennoch ist sie bei einigen, wie z. B. dem edlen Opal, dessen Vorkommen man nur in Tuffen jungeruptiver Gesteine kennt, darauf beschränkt. Die meisten Edelsteine kommen ausserdem auf sekundären Lagerstätten, im Schwemmlande, vor. Diejenigen, welche sich durch grosse Härte auszeichnen, leisten der Zertrümmerung und Abreibung Widerstand und können daher als grössere Stücke von sandigen und erdigen Sedimenten eingeschlossen werden. Wenn sie gleichzeitig höheres spezifisches Gewicht als die gewöhnlichen Bestandteile des Schwemmlandes besitzen, unterliegen sie einer Aufbereitung und sammeln sich vorwiegend an einzelnen begünstigten Stellen an. Indessen scheint die Bildung eines lediglich aus Fragmenten von Edelsteinen nebst einzelnen Erzstücken von grösserer Härte bestehenden Sandes sich nur durch die unablässige Aufbereitung auf dem Brandungsstrande, wo auch Zertrümmerung stattfindet, zu vollziehen. Im Schwemmlande der Festländer geht die Zusammenführung wohl niemals so weit. Doch enthält dasselbe in solchen Ländern, wo es überhaupt Edelsteine als Erosionsprodukte aufnehmen konnte,

an manchen Stellen eine weit grössere Menge von ihnen als an anderen. Man gewinnt sie zum Teile durch Schlemmen, ähnlich wie Gold und Zinnstein. Dies gilt besonders von dem Diamant. Die bisher bekannten Lagerstätten der genannten Art geben den wichtigen Fingerzeig, dass man dort, wo Edelsteine im Schwemmlande überhaupt angetroffen werden, eine grössere Menge derselben zu finden hoffen darf. Von Interesse, aber nicht von praktischer Wichtigkeit, ist es in allen derartigen Fällen, die Gesteine aufzusuchen, aus welchen die edlen Mineralien stammen.

Von denjenigen Mineralien, welche man ausserdem noch zu Schmucksteinen verwendet, stehen an Interesse die bei den Chinesen als Yü, in Europa als Jade bezeichneten Varietäten von Nephrit voran. Ihrer Härte wegen behalten sie in den Schuttmassen der Gebirgsgewässer die Gestalt grosser, völlig gerundeter Blöcke und werden auf der altberühmten Lagerstätte bei Khotan vorwaltend, auf der später entdeckten in Oberbirma ausschliesslich in dieser Form gewonnen. Der Herstammungsort im festen Gesteine ist an letzterm Orte unbekannt, an ersterm zum Teile aber bisher noch unvollkommen erforscht worden. In beiden Gegenden sind weitere genaue Untersuchungen erwünscht. Ausserdem sind noch einige andere Vorkommen von Nephrit, insbesondere in Neuseeland, bekannt. Jeder fernere Fund ist von Interesse. — Aehnlich verhält es sich mit dem Bernsteine, dessen wenige aussereuropäische Fundstätten noch fast unerforscht sind.

Unter den technisch verwendbaren Mineralstoffen spielt der Graphit eine nicht unwesentliche Rolle. Er bildet mehr oder weniger mächtige schieferige Einlagerungen in Gneis, körnigem Kalksteine und Glimmerschiefer, kommt aber auch in weniger stark metamorphosierten Schichten vor. Er kann durch Umwandlung von Steinkohle entstehen; ob er immer daraus entstanden ist, ist ein Problem von gleicher Wichtigkeit mit der Frage, ob mächtige Kalksteine nur durch Mitwirkung organischer Thätigkeit niedergeschlagen werden konnten; denn beide Fragen hängen mit der zusammen, ob in dem archaischen Zeitalter organisches Leben existiert hat. Man begegnet Lager von Graphit nicht selten und sollte sie stets eingehend untersuchen. Bezüglich der technischen Verwertbarkeit giebt man sich leicht Illusionen hin, da die besten Sorten einen sehr hohen Handelswert besitzen. Bei den minder guten fällt dieser schnell auf einen sehr geringen Betrag herab, und gerade die grösseren

Lagerstätten enthalten unreinen, gewerblich nicht verwendbaren Graphit.

Der Schwefel ist das technisch wichtigste Produkt der vulkanischen Thätigkeit. In Gegenden, wo diese noch fortdauert, und ebenso in solchen, wo sie erloschen ist, findet man ihn an die Zersetzungsprodukte der Solfataren (§ 250) gebunden. Doch sind wenige Lagerstätten bedeutend genug, um die Ausbeutung zu lohnen. Die Auffindung neuer, ergiebiger und gut gelegener Stätten würde von hohem Werte sein. — Weit seltener ist das Vorkommen des Borax oder auch der freien Borsäure. Das Ausströmen der letztern in Toscana und das ausserordentlich bedeutende Auftreten des Borax in dem von alten Vulkanen überragten Clear Lake Kaliforniens und in dem Boden der Umgebung desselben machen es wahrscheinlich, dass die massenhafte Produktion dieser Substanzen auf der Ausscheidung und der Stoffumsetzung an vulkanischen Herden beruht. Da bis in die Neuzeit Tibet das Land gewesen ist, von welchem fast die Gesamtmasse des in den Handel kommenden Borax stammte, würde es von grossem Interesse sein, die dortigen Lagerstätten, welche sich ebenfalls in Seen und salzigen Inkrustationen zu befinden scheinen, kennen zu lernen.

Man sollte überall zu erkunden suchen, woher die Eingeborenen das Steinsalz beziehen. Es wird zum Teile aus dem Meerwasser, zum Teile aus Krusten im Boden ausgetrockneter Salzseen, zum Teile aus Salzsole, die dem Boden in Gestalt von Quellen entströmt oder durch Bohrlöcher erreicht wird, zum Teile aus festen Steinsalzkörpern gewonnen. Die Bewohner kennen in der Regel fast jedes zur Ausbeutung geeignete Vorkommen. Dem Reisenden bleibt die Aufgabe weiterer Erforschung desselben. In den meisten Fällen aber kann diese nur durch kostspielige Arbeit geschehen.

Es ist bereits auf das Interesse hingewiesen worden, welches die Salze der Steppen bieten. Es möge hier besonders des Natronsalpeters gedacht werden, dessen Hauptfundstätte die trockenen Westgehänge der Anden von Chile und Peru sind. Seine Herstammung ist Gegenstand mancher Spekulationen gewesen. Man hat aus den in dem eisernen Hute der Silbererzgänge derselben Gegenden in grosser Menge vorkommenden Chlor- und Jod-Verbindungen, im Vereine mit dem Auftreten von Salzen, unter denen das genannte die erste Stelle einnimmt, den Schluss gezogen, dass jene Gebirge in einem kurz vergangenen

Zeitalter bis zur Höhe von mehreren tausend Metern vom Meere bedeckt gewesen seien. Da dies aus anderen Gründen wenig Wahrscheinlichkeit hat, ist zu untersuchen, ob nicht die beständige Zufuhr von Meeressalzen durch die fast ununterbrochen wehenden Südwestwinde (§ 192) den angegebenen Effekt auf die Ansammlung von Salzen und die Umwandlung der Erze hervorgebracht haben könne. — In denselben Gegenden spielt der Guano eine Rolle, da er sich in dem trockenen Klima durch lange Perioden ansammeln und erhalten kann. Wo die Seevögel ähnliche Existenzbedingungen finden, die Trockenheit aber zuweilen durch etwas Regen unterbrochen wird, dürfte die Auslaugung des Guano zur Bildung phosphorsaurer und salpetersaurer Verbindungen Anlass geben. Der ebenfalls technisch wichtige phosphorsaure Kalk dürfte wenigstens in einzelnen Fällen derartigen Vorgängen seine Entstehung verdanken.

Die Zersetzungsrückstände der Gesteine sind im vorhergehenden mehrfach genannt worden. Abgesehen von der Wichtigkeit der daraus hervorgehenden Bodenarten für Vegetation und Landwirtschaft, haben die Töpferthone und die Porzellanerde eine technische Bedeutung. Bei den ersteren ist sie meist örtlich, während die letztere einer Industrie von allgemeinerm Interesse dient. Die Porzellanerde kann aus verschiedenen Gesteinen durch Zersetzung mittelst der aus der Atmosphäre zugeführten Agentien entstehen, insbesondere aus Granit und Porphyr. Die kräftige Einwirkung vulkanischer Ausströmungen vermag sie auch aus anderen Gesteinen zu schaffen. Meist bildet die Porzellanerde einen Bestandteil zersetzter Gesteinsmassen und muss durch Schlemmen daraus gewonnen werden. Alle zur feinern Töpferei und zur Porzellanfabrikation, insbesondere auch zur Herstellung der Glasur verwendeten Materialien sollten nach Beschaffenheit, Lagerstätten und womöglich Entstehungsart untersucht und gleichzeitig gesammelt werden.

Es sei hier endlich der flüssigen Kohlenwasserstoffe gedacht, welche seit wenigen Decennien eine so grosse Rolle im Welthandel und im Haushalte der Menschen spielen. Das Petroleum oder Erdöl findet sich als Imprägnation von Schiefern, Sandsteinen und Kalksteinen, und dies muss als seine ursprüngliche Lagerstätte betrachtet werden, auf der es sich aus organischen Substanzen gebildet hat. Zuweilen ist es an der Oberfläche kaum wahrnehmbar, nimmt aber gegen das Innere und die Tiefen hin an Menge zu. Ausserdem begegnet man ihm auf

sekundärer Lagerstätte, indem es dem Gesteine langsam entströmt und eine schwärzliche Schicht auf dem Wasser von Quellen und Tümpeln bildet. Schöpft man sie ab, so wird sie bald wieder ersetzt. Ebenso kommt das Erdöl in dem Schlamme und dem Wasser der Schlammvulkane vor. In jedem derartigen Falle darf man annehmen, dass an dem Herstammungsorte, d. h. in gewissen Gesteinen, insbesondere gegen die Erdtiefen hin, grössere Massen vorhanden sind. Wiederholen sich die Anzeichen an der Erdoberfläche an vielen Stellen und strömt brennbares Gas aus, so darf jener Schluss mit erhöhter Sicherheit gezogen werden. Aber die Möglichkeit gewinnbringender technischer Ausnutzung lässt sich allein durch Bohrversuche entscheiden; die sorgfältigste Erforschung an den der Beobachtung zugänglichen Stellen ist immer nur vorbereitende Arbeit.

Es würde zu weit führen, alle nutzbaren Stoffe des Mineralreiches hier einzeln zu behandeln. Der Begriff ist, wie bemerkt, kein absoluter. Vieles, wie z. B. die zum Bauen und zur Ornamentik verwendeten Gesteine, dient nur den Zwecken eines Ortes oder einer engbegrenzten Gegend. Manches auf ein kleines Gebiet beschränkte Gewerbe, wie die Glasindustrie, die Steinschleiferei, die Herstellung von Gegenständen aus Marmor, Alabaster, Serpentin, Speckstein, Bergkristall und anderen Mineralien, gründet sich auf das lokalisierte Vorkommen eines Minerals oder die besonders brauchbare Abart eines Gesteines. Was in vorhergehenden Kapiteln wiederholt hervorgehoben wurde, gilt auch hier: Keine Erscheinung darf dem Forschungsreisenden zu geringfügig sein; auf jede muss er sein Auge richten; der geübte und geschärfte Blick vermag oft in dem Kleinen das Fundament zu finden, um Grösseres richtig zu beurteilen und durch oft wiederholte sorgfältige Kombination weittragende Schlussfolgerungen zu ziehen.

Sachregister.

(Die Zahlen beziehen sich auf die Seiten.)

Abdämmungsbecken 191, 259 bis 262.
Abflussrinnen des Wassers:
normale Form 133.
rückschreitende Vertiefung 136 bis 143, 154.
seitliche Gestaltung 143—145.
Abgliederungsbecken 262.
Abgliederungsinseln 376—379.
Ablagerungen aus fliessendem Wasser 133, 174—177.
— durch Gletscher 239.
— im Meerwasser 181.
— am Meeresboden 409—421.
— in Strommündungen 180—185.
— durch Wind 437—442.
Ablation durch fliessendes Wasser 132, 151, 155—157.
— durch Gletschereis 235, 238, 240, 243—245.
— an Küsten 343, 344.
— durch Wind 428—430.
Abrasion 347—358.
—, Verhinderung durch Eis 255.
Abrasionsfläche 350—358, 606.
— auf Kalkstein 102.
—, Erosion auf 168—172.
Abrasionsgebirge 658—665.
—, Kammgestalten 680—683.
Abrasionsplatten 668.
Abrasionsregionen 492.
Abrasionsschollen 537.
Absenkung 590—595.
Absenkungsstufen der Ströme 197.
Absenkungsthäler 630.
Absperrungsküsten 293.
Abspülung der Gehänge 156, 174.
Aeolische Ablation und Korrasion 427—432.
— Ablagerung 437—442.
— Aufschüttungen 469—478, 493, 497.
— Ausräumung 265.
— Denudation 491, 497.
— Sedimente 276.
Aeolischer Transport nach den Oceanen 414.
Aestuare, Ablagerung darin 180 bis 182.
Aeusserer Gebirgsbau 674—696.
Alluvialebenen 177.
Alluvialkegel 176, 177.
Altersfolge jungeruptiver Gesteine 561—564.
Alaunfels 578.
Anamesit 554.
Andesit 550, 563.
Aneroid 18, 19, 54, 55.
Anordnung der Thäler 638—640.
Antiklinale Schichtenstellung 125, 599.
Arbeit s. mechanische Arbeit.

Archaische Gesteine 502—505.
Artesische Brunnen 117—119.
Astronomische Ortsbestimmung 9, 45.
Atolle s. Korallenbauten.
Atollseen 263.
Atrium 570.
Aufbereitung 710.
— auf Strand 337—340.
— auf Korallenstrand 389—391.
— durch Wind 432—437.
Aufblähung der Gesteine 612.
Aufgesetzte Gebirge 642, 666, 667.
Auflösung der Gesteine 449.
Aufschiebung 600, 601.
Aufschüttungsboden 463—478.
Aufschüttungsgebirge 642.
Aufschüttungsgipfel 679.
Aufschüttungskamm 679.
Aufschüttungsregionen 492, 493.
Aufschüttungswälle 191, 192.
Aufschüttungswüste 498.
Aufzeichnung 31.
Ausbruchsgebirge 642, 666, 667.
Ausbruchsgeschichte der Vulkane 579—581.
Ausbruchsthätigkeit der Vulkane 572—574.
Ausgleichsküsten 308, 309.
Auslaugungsseen 267, 268.
Ausräumungsbecken 264—266.
Ausrüstung, geologische 14—22.
— für meteorologische Beobachtungen 34—41.
— persönliche 61, 62.
Austrocknen der Gesteine 612.
Auswalzung der Gesteine 618.
Achsenebenen der Falten 599.
Azoisches Zeitalter 502.

Barancos 157.
Barkhane 436.
Barometer 19, 54, 56.
— -Beobachtungen 70.
Basalt 554, 559, 563, 671.
—, Erosion im 161, 162.
Batholithe 524, 529, 535, 558.
Becken als Thalform 626.
— der Seen 256—286.
— der kontinentalen Gliederung 270—277.
Beckenbildung durch glaciale Ablation 244, 245.
— durch glaciale Korrasion 246 bis 254.
Beckenrandküsten 294, 295.
Beckensenkungen 298, 594.
Beckenwasserscheide 686.
Bergstürze 129, 453.
Bergsturzseen 259.
Bernstein 714.
Bimsstein 546.
Binnenmeere 271.
Biologische Beobachtungen 76-83.
Blatt 596.
Blattverschiebungsthäler 632.
Blaubänderstruktur 222.
Bleierze 708.
Boden, Erwärmungsfähigkeit 90, 91.
—, Umänderung 480—486.
Bodenänderung durch Regenwürmer 83.
Bodenarten 452—480.
—, Aufeinanderfolge 486—489.
—, Sammeln von 27.
Bodenbildende Agentien 449—452.
Bodenbildung durch Wind 469 bis 478.
Bodencharakter der Erdräume 489—498.
Bodenkultur, Einfluss von 485, 486.
Bodeneis 205, 206.

Bodenfeuchtigkeit 115.
Bodenkrumen, äolische 477, 784.
Bodenkunde, geographische 494.
Bodentemperatur 64, 78.
Bodenwasser u. Quellen 112—129.
Bodenwellen in Schwemmland 122, 125.
Borax 715.
Botner 250.
Brakwasserseen 263.
Brandung, Entstehung 321, 322.
—, mechanische Wirkung 330 bis 362.
— an Koralleninseln 389—391.
Breccien 545, 556.
Bruchformen 587, 597, 600—603.
Bruchgebiete, Seen in 280.
Bruchgebirge 643—649.
Bruchinseln 378.
Bruchlose Schichtenbiegung 613.
Brunnen 114.
—, artesische 117—119.
Brunnengrabungen 366.
Bücher, mitzunehmende 21.
Buchthäfen 312.

Calderas 157.
Centralbecken der Kontinente 275—277.
Centralgebiete, Schuttbildung 175.
—, Seen darin 283.
Circusthäler 250—254.

Dacit 550.
Dalmatischer Küstentypus 302.
Dammstufen 196.
Deckgebirgskämme 680.
Dejektionskegel 175, 176.
Delta, Bildung in Seen 178, 179.
—, Bildung in Strommündungen 182—185.
—, Bodensenkung 185, 268.
Deltaboden 81, 471.
Deltamündungen 368.
Denudationsregionen 490—492.
Denudationswüsten 598.
Depressionen, kontinentale 270 bis 277.
Desquamation 92.
Diabas 538.
Diagonale Stromzerlegung 166 bis 168, 171, 189.
Diagonalhorst 648.
Diagonalkamm 679.
Diagonalküste 294.
Diagonalthal 166—168, 626.
Dislokationsfläche 589.
Dolerit 554.
Dollinen 102.
Druck, Einfluss auf Zerklüftung 588, 613—615.
Dünen 344—346, 363, 667.
— des Binnenlandes 435—437.
— in Deltas 182.
—, Grundwasser in 114.
Dünenseen 258.
Dünung 320.
Durchgangsthäler 639.
—, Entstehung 172, 187—189.
Durchgreifende Passübergänge 694.
— Thäler 640.
— Wasserscheide 688, 689.

Edelsteine 713, 714.
Einbruchsbecken 267, 268.
Einbruchskessel der Vulkane 566.
Einschwemmungsseen 262.
Eingeborene, Umgang mit 41.
Eis, Beobachtungen an 205—255.
— im Erdboden 205, 206.
— der fliessenden Gewässer 207, 208.
— der Gebirgsgletscher 210—223.
— in Gesteinsklüften 93—95.
— des Meeres 209.

Eis der Polargletscher 223—228.
— der stehenden Gewässer 207.
Eisbarren 208.
Eisbildung in Gebirgen 121.
Eisdammseen 260.
Eisdrift 414.
Eisenerze 704, 705.
— in Schwemmland 713.
Eisenoxyd, unzersetzbar 101.
Eisgang 208.
Eishöhlen 206.
Eiszeit 235, 236.
— s. Gletscher der Vorzeit.
Ejektion der Gesteine 525.
Elastizität der Gesteine 613.
Elemente des äussern Gebirgsbaues 674—696.
Eluvialboden 452—462.
Eluvialregionen 489.
Eluvialwüste 497, 498.
Endbruchthäler 633.
Endmoränen der Glacialzeit 231.
Endmoränenseen 260.
Endogene Erstarrungsgesteine 525.
Entwaldung 481—445.
Epigenetische Thalbildung 170 bis 172, 189, 636.
Erdbebenfluten 329, 369, 370.
Erdboden s. Bodenarten.
Erden, Sammeln von 27.
Erdöl 716, 717.
Erdpyramiden 156.
Erdräume, Typen 489—498.
Erkundung von Eingeborenen 32.
Erosion durch Wasser 133, 152.
—, abhängig von Gefälle 148.
— — — Gestein 155—174.
— — — Wassermasse 149—153.
— in Abrasionsflächen 168—170.
— in geneigten Schichten 163 bis 168.
Erosion in Schutt 155—157.
— in Tafelland 158—162.
— in Transgressionsgebilden 170 bis 172.
— in zerklüftetem Gesteine 172 bis 174.
—, rückwärtiges Fortschreiten derselben 136—143, 687.
—, seitliche 143—145.
— an Wetterseite der Gebirge 153—155.
— durch Eisgang 208.
— durch Wind 330—334.
Erosionskanal 711.
Erosionsgebirge 641, 672—674.
Erosionskamm 678.
Erosionsthäler, epigenetische 170 bis 172.
Erratische Blöcke 232.
Eruptivgesteine 501.
—, ältere 523—540.
—, jüngere 541—581.
—, Verwitterung 103—108.
—, Zusammenhang mit Erzlagerstätten 705, 709.
Erzgänge 705—707.
Erzlagerstätten 579, 703—713.
Exogene Erstarrungsgesteine 525.
Explosionsbecken 266.

Fächerförmige Schichtenstellung 599.
Fächerkegel 176.
Facies 609.
Fallwinde 72—74.
Falsche Schieferung 615.
Faltung der Schichten 597—600.
Faltungsgebirge 643, 649—658.
—, Seen im 279.
Faltungskamm 678.
Faltungsseen 269.
Faltungsthäler 629.

Fauna der Inseln 373.
— des Meeresbodens 416—419.
— pelagische 415, 416.
Felsbecken, durch Korrasion gebildet 246—254.
Felswände, polierte 232.
Felswüste 492.
Feuchtigkeit der Luft 68—70.
Firneis 210.
Firngebiet, Bewegung in 217.
Firnschnee 210.
Firstlinie 677.
Fjordbildung 237, 254, 255.
Fjordhäfen 312.
Fjordinseln 377.
Fjordküsten 300—302.
Fjordseen 263.
Flachboden 643, 667—672.
—, glaciale 233.
— des Meeres 289, 407—409.
Flachlandküste 289, 291, 292.
Flankengliederung 677.
Flankenthäler 629.
Flexur 591.
—, seitliche 597.
Flexurgebirge 647.
Fliessendes Wasser, Arbeit desselben 130—204.
—, Einfluss der Aenderung der Zustände 185—204.
—, Einfluss des Gesteines auf Arbeit 155—174.
—, Gefälle 148, 149.
—, Sedimentablagerung 174—185.
—, Strömungsgeschwindigkeit 146.
—, Tragkraft 147.
—, Wassermasse 149.
Flora, pelagische 415, 416.
Flözgebirge 514—523.
Fluidalstruktur 546.
Flussbarren 184.
Flussbetten, alte 711.
Flüsse, Alter der 186.
Flusseis 207, 208.
Flussmündungen 365—368.
—, Ablagerung in 180—185.
—, Arbeit an 342.
—, versenkte 300—306.
—, Seen in 278.
Flusswasser, gelöste Stoffe im 413.
Fluthäfen 314.
Flutwelle 323—327.
Föhnwinde 74.
Frostwirkung 449, 480.
Furche als Thalform 635.
Furchenpässe 695.
Furchenthäler 661.
Furchenwasserscheide 686.
Fuss des Gebirges 675, 676.

Gänge 524, 705—707.
Gasausströmungen 573—575.
Gebirge, Einteilung 640—673.
Gebirgsbau, innerer 582—619.
—, äusserer 674—696.
Gebirgsfuss 675, 676.
Gebirgsgletscher 210—223.
—, Beschaffenheit des Eises 218 bis 223.
—, Bewegung 215—218.
—, Morphographie 212—215.
—, Spaltenbildung 217.
—, Vorkommen 211.
Gebirgskamm 676—683.
Gebirgspässe 691—693.
Gebirgsschutt, Ablation desselben durch Eis 235.
Gebirgsthäler, chemals vergletscherte 232, 234.
Gebirgszeichnung 57, 58.
Gefälle der Ströme 174—177.
— — —, Wandlungen 187—192.
Gefrieren des Meerwassers 209.

Gehängelehm 455.
Geiser 576.
Geoidfläche, Aenderung 202.
Geologie, Studium der 10—12.
Geologische Aufnahme, Wert 704.
—, Aufschlüsse 445—447.
—, Karten 32, 52, 53.
Geologisches Sammeln 26—31.
Gestein, Einfluss auf die Küstenformen 335—337.
—, Aenderung durch Frost 93—95.
—, — — Insolation 91, 92.
—, — — Verwitterung 95—111.
—, Sammeln von 26—31.
Gesteinsstufen der Thäler 195.
Gesteinszerklüftung, Einfluss auf Erosion 172—174, 202—204.
Gezeiten 323—327.
—, Einfluss auf Ablagerung an Strommündungen 182—185.
—, Einfluss auf Abrasion 331.
Gipfelbildung 679.
Gips, Lösbarkeit 103.
Glaciale Ausräumung 244, 245, 264, 265.
— Konglomerate 516, 517.
— Denudation 491.
Glacialgebiete, Seen darin 281.
Glacialschotter 234.
Glacialschutt 229, 231, 232, 234, 235, 467, 492, 667.
—, Seen im 258.
Glasige Erstarrung 546.
Gletscher, Arbeit der jetzigen 229, 230.
—, Beobachtungen über 210 bis 255.
— der Polarländer 223—228.
— der Vorzeit 231—255.
— — —, Ablationsarbeit 243 bis 245.
Gletscher der Vorzeit, Bewegung 241—243.
— — — Korrasionsarbeit 245 bis 254.
— — —, Endmoräne 231.
— — —, Grundmoräne 230.
— — —, sichere Leistungen 238 bis 240.
— — —, polierte Felswände 232.
— — —, Seitenmoräne 231.
— — —, Verbreitung 230.
Gletschereis, Beschaffenheit 210, 211, 218—223.
Gletscherkorn 211, 219—222, 228.
Gletscherschutt s. Glacialschutt.
Gletscherzunge 210.
Glimmerschiefer 504.
Gneis 501, 504—506 ff.
— und Gneisgranit 105, 533.
Gold auf Gängen 707.
— in Schwemmland 710—712.
Gosauschichten 608.
Grabensenkung 592.
Grabensenkungsthäler 633.
Granit 103, 501, 533.
Granitische Gesteine 507, 533 bis 538, 543.
— Textur 528.
Graphit 714.
Grundeis der Flüsse 207.
— des Meeres 209.
Grundmoräne 230, 231.
—, Entstehung 234, 235, 245.
Grundwasser 112—119.
— mechanische Wirkung 121—124.
Grünsteintrachyt 551.

Haarfrost 95.
Häfen 310—315.
Halbinseln 383.
Hamada 92, 497.
Hammer, geologischer 14—16.

Handstücke, geologische 36.
Hausrat auf Reisen 38.
Hebung und Senkung s. Strandverschiebung.
Heisse Quellen 576.
Heteromorphe Faltungsgebirge 653 bis 658.
Heteropische Ablagerungen 609.
Hochebene 669.
Hochfläche 669.
Hochflächen, Depressionen auf 275.
Hochflutseen 180, 260.
Hochküsten 289, 395.
Hodometer 48.
Höhenmessung 54—58.
Höhlenbildung 102, 204.
Hohlformen des Festlandes 623 bis 640.
Hohlschollen 644.
Homöomorphe Faltungsgebirge 652, 653.
Horizontale Lagerung 158.
Horizontglas 19.
Horste 593.
Horstgebirge 648, 649.
Humusbildung 80, 459, 460.
Hundertfadenlinie 407.
Hygienische Regeln 39.
Hygrometer 69.

Ingression 607—609.
Injektion von Gestein 525.
Inselhäfen 314.
Inseln, Einteilung 374—383.
—, Fauna 373.
Insolation 63, 65, 78.
—, Wirkung auf Boden und Gestein 89—93.
Instrumente für geodätische Zwecke 30.
— für geologische Beobachtungen 14—22.
Instrumente für meteorologische Beobachtungen 61, 62.
Intrusion von Gestein 525.
Invariable Erdschicht 64, 65, 206.
Isohypsen 57, 58.
Isoklinalen 599.

Jade 714.
Jochkamm 677.
Jochpässe 692.
Jochrücken 677.
Jungeruptive Gesteine 541—581.

Kalkstein 518.
—, Höhlen im 462.
—, Lösbarkeit 101.
—, Zerklüftung 126, 203.
Kalktuff 128, 466.
Kämme der Gebirge 676—683.
Kammlinie 677.
Kammpässe 691—693.
Kammwasserscheide 684.
Kare 250—254.
Karrenfelder 101.
Karstlandschaft 102.
Karten, mitzunehmende 21.
Kartenzeichnung, geologische 32, 52.
—, orographische 57.
—, topographische 43—53.
Kategorien der Gebirge 640—673.
— — Gebirgskämme 676—683.
— — Inseln 377—383.
— — Küsten 289—315.
— — Seebecken 257—277.
— — Seehäfen 310—325.
— — Thäler 623—640.
— — Wasserscheiden 684—691.
Keilschollen 644.
Kerbe als Thalform 635.
Kerngebirgskamm 680.
Kernzüge der Faltungsgebirge 654.
Kesselbruchthäler 634.

Kesseleinbruch 572, 593.
Kesselmulde 597.
Kettengebirge 640.
Khamsin 74.
Kieswüste 497, 498.
Kleidung auf Reisen 35—36.
Klima, glaciales 235.
— der Küsten 217—220.
— der Wüsten 495—497.
Klimaänderung 75.
—, Einfluss auf Seen 284—286.
—, — — Ströme 192—194.
— durch Entwaldung 482.
—, Folgen 273.
Klimatische Beobachtungen 59 bis 75.
Klinometer 17, 18.
Kluftbildung 610—619.
Klüfte im Gesteine bei Frostwirkung 94.
—, Einfluss auf Erosion 172—174.
—, — — Flussläufe 202—204.
— im Granite 103—105.
Kochthermometer 19, 54.
Kohlensäuerlinge 577.
Kompass 16—17.
—, Aufnahme vermittelst 49—51.
Konglomerate 516.
Kontakthülle 536.
Kontaktmetamorphismus 507—511.
Kontaktmineralien 508.
Kontinentalinseln 376—381.
Kontinentalschlamm 411.
Kontinentalzone des Meeresgrundes 411.
Kontraktion der Gesteine 611.
Korallenbauten 363, 368, 383 bis 405, 667.
—, Einfluss auf Küstenformen 309.
Koralleninseln 382, 388.
—, Entstehung 397—401.
Koralleninseln, Gestalt 391—396.
—, morphologische Bedeutung 404, 405.
—, Strand 389—391.
—, trockengelegte 401—403.
Korallenkalk 401, 402.
Korallensand 415.
Korallenschuttseen 259.
Korrasion des Felsstrandes 337, 338.
— durch fliessendes Wasser 133.
— durch Gletschereis 231—232, 239, 245—254.
— durch Wind 332—334.
—, Kesselbildung durch 148.
Korrasionsbecken, glaciale 265.
Kraterhäfen 313.
Kraterseen 266.
Kristallinische Schiefer 502 bis 514.
— —, Verwitterung 108.
Krustenbildung durch Insolation 92.
Kulturboden 459, 466.
Kumulative Zersetzung 109—111.
Kupfererze 708.
Kuppelwölbungen 597.
Küsten s. Meeresküsten.
Küstenablagerungen 410, 412.
Küstenlagunen 262.
Küstenschutz durch Eis 255.
—, Wallriffe 404, 405.
Küstenseen 278.
Küstenwälle 262, 341, 342, 357.
Küstenzone, Abdachung 407.

Lagerstätten der Erstarrungsgesteine 524—525.
— der Erze 703—713.
— der Steinkohle 698—703.
Lagerung des Schichtgebirges 583 bis 610.
Lagunen der Küsten 262, 342.

Lagunen der Korallenriffe 388, 391.
— der Ströme 261.
Lagunenküsten 307.
Lakkolithe 524.
Lakustrine Ablagerung 177—180.
— Sedimente 580.
— Terrassen 199.
Land- und Seewinde 319, 320.
Landschaft, glaciale 232—237.
Landsenken 625, 627, 628.
Längsbrüche, Beziehung zu Küsten 297.
Längsbruchthäler 631, 632.
Längsfurche 169, 637.
Längshorste 649.
Längskämme 679.
Längsküsten 291, 301.
Längsstufen in Thälern 195, 198 bis 202.
Längsthäler 626.
Laterale Verschiebung 595.
Laterit 455—459.
Lavaströme 568, 573.
Lavastromseen 260.
Lebensmittel auf Reisen 36—38.
Lehm 109, 455.
Limanhäfen 313.
Limaninseln 378.
Limanküsten 305, 306.
Liparit 547.
Lithoidit 546.
Lithophysen 546.
Litoralzone 410, 417.
Löss 469—478.
—, Terrassenbildung 123.
Lössregionen 493.
Lösung der Gesteine 101—103, 110, 111, 412—414.
Lösungsrückstände 462.
Lötrohrapparat 21.
Lückenpass 692, 693.
Luftdruck 70—75.
—, Feuchtigkeit 68—70.
—, Strömungen 70—75.
—, Temperatur 62, 63.
Mäandrische Kämme 683.
Maare 266.
Mangrove-Vegetation 81, 184.
Marines Flachland 668.
Massenausbrüche 542, 560.
Massengebirge 641, 659.
Mechanische Arbeit der Brandung 330—342, 346—362.
— — der Erdbebenfluten 693, 370.
— — der fliessenden Gewässer 130—204.
— — der Gletscher 229, 230, 237—255.
— — der Insolation 91.
— — der Meereswellen 321—323.
— — des Spaltenfrostes 93—95.
— — der Strömungen 369.
— — des Windes 427—442.
Medizinen auf Reisen 39.
Meer, Bewegungserscheinungen im 320—330.
Meereis 209, 358.
Meeresboden, Gestalt des 406, 407.
— bei Korallenriffen 391—396, 400
—, Sedimentbildung 409—421.
Meeresbuchten 383.
Meeresküsten, Beobachtungen an 287—370.
—, Brandung 330—342, 346—362.
—, Gestalt derselben 288—315.
—, Klima daran 315—320.
—, Strömungswirkung 342—344.
Meeresreste, binnenländische 271 bis 275.
Meeressalze 423—425.
Meeressedimente 466, 467.
Meeresspiegel, Schwankungen 328.

Meeresströmungen 327—330, 342 bis 344.
—, mechanische Wirkung 369.
Meereswellen 320—323, 337—340.
— Wirkung in der Tiefe 321.
Meerwasser, Ablagerung im 181, bis 183.
Messende Arbeit auf Reisen 43—58.
Messung in der Horizontalen 47—51.
— — — Vertikalen 54—58.
Metamorphische Gesteine 503, 507—511.
Metamorphismus im Kontakte 507 bis 509.
—, mechanischer 511, 619.
—, regionaler 509—511.
Methoden des Reisens 23, 24.
Mikroskop 21.
Mineralien, nutzbare 697—717.
—, Sammeln von 29—31.
Mofetten 577.
Monoklinale Falte 591.
Moorboden 459, 460.
Monsun 318.
Moränen 211, 229—232.
Mulde als Thalform 626.

Natronsalpeter 715.
Nebel 70.
Neigungswinkel d. Schuttkegel 175.
— der Seeablagerungen 179.
Nephrit 714.
Nevadit 548.
Niveauschwankung in Binnenseen 179.
Notizbücher auf Reisen 20.

Oasen 441, 485, 486, 497.
—, Bewässerung in 119.
Oberflächenformen, Kategorien 640—674.
Obsidian 546.
Orographische Zeichnung 57, 58.
Ortsbestimmung, astronomische, 9, 45—47.

Packeis 209.
Packen von Gesteinsstücken 30.
Parallele Anlagerung 610.
Parasitische Gebirge 642, 666, 667.
— Inseln 381, 382.
Pässe der Gebirge 791—693.
Passfurchen 640.
Passübergänge 693—696.
Pedometer 48.
Pelagische Ablagerung 420, 421.
Pericentrische Lagerung 559.
Periklinale Lagerung 559, 584.
Periodizität der Flüsse 150, 151, 192—194.
— der Gletscherbewegung 216.
Perlstein 546.
Petroleum 716, 717.
Pflanzen, fossile 700.
Phonolith 549.
Photographie auf Reisen 34.
Phyllite 504.
Plastizität der Gesteine 613.
Plateau 668.
Plattenkamm 681.
Plattscholle 644.
Polargletscher 223—228, 253.
—, Bewegung 227, 228, 242.
—, Eisströme 225.
—, Moränen 229.
—, Neigungswinkel 224, 225.
Porphyr, Verwitterungsformen 106.
Porphyrische Gesteine 538—540.
— Textur 527, 528.
Porzellanerde 579, 716.
Pressung der Gesteine 614, 615.
Propylit 550—553, 563.
Psychrometer 61, 69.

Quarz 99, 100.

Quarzporphyr 106, 538.
Quarzsand, Entstehung 433.
Quecksilbererze 708.
Quellen 119—129.
—, heisse 576.
Querbrüche, Beziehung zu Küsten 295.
Querfurche 636.
Quergliederung der Bergzüge 677.
Querhorst 648.
Querküsten 294, 303—305.
—, Inseln an 377.
Querstufen in Thälern 195—198.
Querthal 626.
Querthalbildung 165—170, 172.
Querverbindungsfurchen 637.
Querwasserscheide 685.

Regenfall, Einfluss auf Erosion 153—155.
Regenmessung 70.
Regenwürmer, Einfluss auf Bodenbildung 83, 480.
Regionale Bodenbildung 489—498.
— Faltungsgebirge 652.
— Gruppierung der Seen 277 bis 284.
— Zersetzungsvorgänge 108, 109.
Regionaler Metamorphismus 509 bis 511.
Regur 476.
Reisegepäck 40.
Reisemethoden 23, 24.
Reiseweg, Aufnahme 47—51.
—, Aufzeichnung 51—53.
—, Wahl desselben 24—26.
Reliktenseen 272.
Reversionsseen 264.
Rhyolith 547—549, 563.
—, Verwitterung 106.
Riashäfen 312.
Riasinseln 377.
Riasküsten 303—305, 352.
Riegelstufen der Querthäler 196.
Riesenkessel 148.
Ringwall 570.
Rinne als Thalform 635.
Rotation, glaciale 265.
Roter Staub 74.
Rundhöcker 234, 244.
Rumpfgebirge 353, 643, 651, 658—666.
—, Kammgestalten 680—683.

Sägenkamm 683.
Salpeter 715.
Salze des Meeres 423—425.
—, Einfluss auf Verwitterung 93.
Salzgehalt des Bodens 91.
— des Bodenwassers 115, 116.
— des Quellwassers 127, 128.
Salzkruste, Einfluss auf Temperatur 91, 207.
Salzseebecken 276.
Salzseen 193, 275, 439, 473, 577.
Salzsole 128.
Sammeln, geologisches 26—31.
Samum 74.
Sand, Entstehung 433.
—, Treiben 434.
Sandbänke 182.
Sandstein 516.
Sandwüste 498.
Sattelpass 692.
Säugetierreste, Ansammlungen von 489.
Saumriff 388.
Saumthal 625.
Schalenstruktur des Granits 533 bis 535.
Schartenpass 692.
Scheitelfläche der Gebirge 677.
Scheitelthäler 629.
Schichtenfaltung 597—600, 618.

Schichtenfaltung, Einfluss auf Strombildung 187.
Schichtenfolge 519—522.
Schichtenneigung, Einfluss auf Erosion 163—168.
Schichtenprofil 522.
Schichtensystem 519.
Schichtenverband 518—522.
Schichtgebirge, Lagerungsformen 583—603.
—, Ablagerungszeiten 603—610.
Schichtquellen 120, 124—126.
Schichtungstafelland 668—671.
—, Erosion in 158—161.
Schieferthon 517.
Schieferung, transversale 615.
Schirmriffe 388.
Schlamm des Meeresbodens 411.
Schlammströme, vulkanische 555, 569.
Schlammvulkane 577, 717.
Schlieren 536.
Schmarotzerkegel der Vulkane 569.
Schneefall, Messung von 70.
Schollengebirge 643—649.
Schollenkamm 678.
Schollenküsten 295.
Schotter 463—465.
— in Flüssen 175, 176.
— in Seen 178.
—, goldführend 711.
Schotterablagerungen 198—202.
Schraubenbruch 595.
Schuppenstruktur 586, 601.
Schuppenthäler 629.
Schüsselsenkung 594.
Schutt, Erosion in 155—157.
Schutthalden 95, 453.
—, Bildung von 174.
Schuttkegel 174, 175, 231.
Schuttkegelseen 260.
Schuttlandbecken 258, 259.
Schuttwälle, Einfluss auf Stromänderung 191, 192.
Schwankungen des Festlandes 360, 361.
Schwarzerde 439, 476.
Schwefel 575, 577, 715.
Schwemminseln 382, 383.
Schwemmland, Metalle in 710 bis 713.
Schwemmlandküsten 296, 307 bis 309.
Scirocco 74.
Sedimente der Flüsse 463—466.
Sedimentbildung aus fliessendem Wasser 174—185.
— an Küsten 343, 344.
— am Meeresboden 409—421.
Sedimentgesteine 501, 514—523.
Seen, Beobachtungen an 256—286.
—, Ablagerung in 177—180.
—, Aenderungen in 284—286.
—, Kategorien von 257—277.
—, regionale Gruppierung 277 bis 284.
Seebecken, Ausfüllung von 179.
— in Glacialgebieten 236, 244 bis 254.
Seeeis 207.
Seehäfen 310—315.
Seelöss 473.
Selektive Ablagerung 608.
Seigerung 710.
— durch Wind 432—437.
Senken 270—277.
Senkung in Deltagebieten 185.
Sickerwasser 119, 120.
Silbererze 707, 708.
Skizzen, Anfertigung von 33.
Skjärenküsten 306.
Skulpturthäler 634—638.

Sohlenthäler 629.
Solfataren 575.
Sonnenbestrahlung s. Insolation.
Spalten in Gletschereis 218.
Spaltenfrost 93—95, 174.
Spannungsdifferenzen 588, 613.
Sphärolithe 546.
Spülendes Wasser 156, 157.
Staffelblätter 596.
Staffelbruch 299, 591.
Staffelbruchgebirge 645.
Staffelkamm 683.
Staffelsenkung 591.
Staffelverschiebung 596.
Staub 425—427.
Staubablagerung 437—442.
—, roter 74.
Stauungsseen 132.
Stehende Gewässer s. Seen.
—, Eis derselben 207.
Steilküste 290.
—, Umgestaltung 330—337.
Steinkohlenlagerstätten 698—703.
Steinsalz, Lagerstätten 272, 715.
—, Lösbarkeit 103.
Steppen 497.
Steppenboden 437—442, 472, 473.
Steppenbildung 468.
Stöcke 533.
Strand, Aufbereitung durch Brandung 337—340.
—, — — Wind 344—346.
—, Entstehung 330—337.
— der Koralleninseln 389—391.
Strandküste 290, 291.
Strandriffseen 263.
Strandschotter 464.
Strandseen 278.
Strandterrassen 330—337, 346, 347, 361, 362.
Strandverschiebung, Kennzeichen von 358—368.
— in Deltas 185.
—, Wirkung auf Abrasion 346 bis 358.
Streckung der Gesteine 618.
Strombecken 690.
Strombeckenstufen 150, 198.
Stromflachland 672.
Stromfurchen 626.
Stromgeschwindigkeit 146, 147.
Stromlagunen 261.
Stromlaufänderung 143—145, 187 bis 189.
Strömung in Flüssen, Einfluss auf Arbeit 145, 146.
— — —, Gefälle 148, 149.
— — —, Geschwindigkeit 146, 147.
— — —, Wassermasse 149 bis 153.
Stromzerlegung, diagonale 166 bis 168.
Stufenbildungen in Flussthälern 150, 192, 195—202.
— an Küsten 330—337, 346.
Sturmfluten 328.
Sturzwinde 72—74.
Synklinale Schichtenstellung 125, 599.

Tafelbruchthäler 634.
Tafelkamm 681.
Tafelland 668.
—, Erosion in 158—162.
—, Eluvialdecke auf 454, 455.
Tafellandküsten 305.
Tafellandthäler 636.
Tafelscholle 537.
Tafelstufen der Thäler 195.
Tagebuch 21, 31.
Tagemarsch, Länge desselben 48.
Taupunkt 69.

Tektonische Bewegungen, Einfluss auf Gestein 612.
— Gebirge 643—658.
— Kämme 678.
— Seebecken 268—270.
— Thäler 628—634.
— Verschiebungen, Einfluss auf Stromänderung 189—191.
Temperatur des Bodens 64, 65.
— des Gletschereises 220, 221, 226.
— der Luft 62, 66, 67.
— nach Meereshöhen 65—68.
Terrassenbildung im Löss 123.
— in Thälern 195—202.
Textur der Eruptivgesteine 527, 528.
Thalcirken 253.
Thäler 623—640.
Thalpässe 693.
Thalstufen 150, 192, 195—202.
Thalsysteme 639.
Thalwasserscheiden 684—688.
Thalzüge 639, 685.
Thermen 127.
Thermometer 61, 62.
—, Koch- 19, 54.
—, Anwendung 62—68.
Thon 716.
— der Tiefseen 420, 421.
Thonboden 478—480.
Thongesteine, unzersetzbar 100.
Thonschiefer 504, 508, 517.
Tiden 323—327.
Tiefenzersetzung 109—111, 431, 453, 454, 491, 492.
Tiefsee-Ablagerungen 420, 421, 475.
Tonalit 534.
Töpferthon 716.
Topographische Aufnahmen 43 bis 53.
Torfbildung 460, 462.
Torfmoore 188.
Torsion 203, 617.
Trachyt 549.
—, Verwitterung 106.
Trachytische Textur 528, 529.
Tragkraft des strömenden Wassers 147, 174—177.
Transgression 353—357, 606, 607.
— archaische 506.
— in metamorphischen Schiefern 513.
—, Einfluss auf Thalbildung 170 bis 172.
Transgressionsscholle 537.
Transport durch fliessendes Wasser 133.
— durch Gletscher 239.
Transversale Schieferung 614, 615.
— — von Gletschereis 222.
Transversalkamm 679.
Tranversalküsten 294.
Treppenkamm 683.
Trog als Thalform 626.
Trümmergestein auf Abrasionsflächen 353, 354.
—, vulkanisches 555.
Tschornosjom 475.
Tuffe, Erwärmungsfähigkeit 90.
— des Porphyrs 539, 540.
Tuffboden 468.
Tuffgesteine 556.
—, Verwitterung 108.
Uebergusstafelland 671.
—, Erosion in 161, 162.
Ueberschiebung 600—603.
—, Einfluss auf Ströme 190, 191.
Ueberschwemmungsland 258.
Ueberschwemmungsreste 259.
Uebers pringende Wasserscheide 690.
Ueberwallungsthäler 630.

Umlagerung durch Wind 432—437.
Unterbrochene Auflagerung 604.
Urgebirge 502.
Urgranit 632.

Vegetation, Beziehung zu Klima und Boden 77—83.
—, abhängig vom Bodenwasser 115.
— Einfluss auf Erosion 153.
—, — — Felsboden 79.
—, — — Temperatur 91.
—, — — Verwitterung 96.
Vegetationsboden 459—462.
Vegetationsformationen 76, 77, 493 bis 495, 496.
—, periodische Aenderung 82.
Verdunstung 91.
—, Einfluss auf Quellentemperatur 121.
Vergletscherung, frühere 230—255.
Vermoderung 80, 459.
Versteinerungen 28, 29.
Versteinerte Wälder 431, 498.
Verwerfung 587 ff.
—, Einfluss auf Ströme 189, 191.
Verwerfungsseen 269.
Verwesung 459.
Verwesungsboden 79, 80.
Verwitterung 95—111, 449.
— in Tropen 457.
Vorbereitung zur Reise 8—41.
Vorkenntnisse 9—14.
Vulkan, Definition 541, 542.
Vulkane, Anordnung 566, 567.
—, Ausbrüche 560, 572—574.
—, Gestalt und Zusammensetzung 567—572.
—, homogene 559, 567.
—, Untergrund 565—566.
Vulkangebirge 666, 667.
Vulkanische Aufschüttung 493.
— Inseln 381, 382, 405, 406.
— Regionen, Seen in 281.
— Thätigkeit 572—577.
— —, untermeerische 580.
— —, Einfluss auf Küstengestalt 309.
— Trümmergesteine 555.
Vulkanischer Boden 467, 468.
Vulkanisches Gestein 543.
— —, zerstäubtes 425.

Wadis 151.
Waffen auf Reisen 38, 39.
Wald und Klima 77, 78.
— — Humus 80.
Waldzerstörung 481—485.
Wallhäfen 314.
Wallpass 692.
Wallriffe 387, 388.
— als Küstenschutz 404, 405.
Wanderblöcke 232.
Wärme, Einfluss auf Verwitterung 98.
Wärmeausstrahlung 63, 64, 66.
Warme Quellen 126, 127.
Wasser im Boden 112—119.
—, fliessendes 130—204.
— der Quellen 119—129.
Wasserfälle 148.
Wassermasse der Ströme 149—153.
—, Wandlungen 192—194.
Wasserscheide 142—145, 154, 155, 684—691.
—, unterirdische 114, 122.
Wechselpässe 695.
Wetterseite der Gebirge, Erosion an derselben 153—155.
Wildbäche 174.
Winde, Beobachtungen über 70 bis 74.
— an Küsten 316—320.

Winde, mechanische Arbeit 427 bis 442.
Wolkenzug 71.
Wüsten 433—437, 495—498.
—, Wirkung der Insolation 91, 92.
Wüstenkiesel 431.

Zackenkamm 681.
Zeichenpapier 22.
Zeichnung auf Reisen 33.
— der Karten 50—53.
Zerklüftung der Gesteine 610 bis 619.
Zerklüftung, Einfluss auf Erosion 172—174.
—, Einfluss auf die Richtungen der Ströme 202—204.
Zersetzung der Gesteine 95—111.
—, kumulative 109—111.
Zersetzung, regionale Unterschiede 108, 109.
Zinnerz 708.
— in Schwemmland 712.
Zinnober 708.
Zonale Faltungsgebirge 652.

Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover

Anleitung

zu

wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen

In Einzelabhandlungen verfasst

von

P. Ascherson, A. Bastian, C. Börgen, H. Bolan, O. Drude, G. Fritsch, A. Gärtner, A. Gerstäcker, A. Günther, J. Hann, G. Hartlaub, R. Hartmann, P. Hoffmann, W. Jordan, O. Krümmel, M. Lindeman, Ritter von Lorenz-Liburnau, von Martens, A. Meitzen, K. Möbius, G. Neumayer, A. Orth, F. von Richthofen, H. Schubert, G. Schweinfurth, H. Steinthal, F. Tietjen, R. Virchow, E. Weiss, H. Wild, L. Wittmack

und

herausgegeben

von

Dr. G. Neumayer,

Direktor der Deutschen Seewarte

Zweite völlig umgearbeitete und vermehrte Auflage

Band I:

Geographische Ortsbestimmung, Topographische Aufnahmen, Geologie, Erdmagnetismus, Meteorologie, Astronomie, Hydrographie, Weltverkehr u. s. w.

Mit zahlreichen Holzschnitten und zwei lithogr. Tafeln

Preis Mk. 10.— geh., Mk. 11,50 geb.

Band II:

Landeskunde, Statistik, Heilkunde, Landwirtschaft, Botanik, Anthropologie, Ethnographie, Linguistik, Zoologie, Das Mikroskop und der photographische Apparat u. s. w.

Mit zahlreichen Holzschnitten

Preis Mk. 10.— geh., Mk. 11.50 geb.

Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover

Bilder aus Süd-Afrika

von

James Bryce

Autorisierte deutsche Ausgabe nach der dritten englischen Ausgabe

von

Max Kleinschmidt

Mit einem Vorwort von Theodor Barth und einer Karte von Süd-Afrika

Zweite Auflage

In elegantem englischen Leinenband

Preis Mk. 6.—

L. Frobenius sagt in „Mutter Erde“ über das Buch von Bryce:

Ein zäher englischer Reisender, ein guter Kenner südafrikanischer Verhältnisse, ein wahrhaft vornehmer Diplomat entwirft hier Bilder aus dem Naturmenschen- und Kulturleben Süd-Afrikas. Die kulturpolitischen Anregungen und Beobachtungen sind im höchsten Grade wertvoll, die geschichtlichen Abschnitte sind klar und übersichtlich.

Am wichtigsten für den Augenblick ist jedenfalls die brillante Schilderung der Beziehungen zwischen England und Transvaal. Hier möchte man meinen, einen anderen als den Engländer zu hören. Mit einer feinen Satire zieht er gegen diplomatische Anschauungen und Handlungen dem eigenen Ministerium entgegen. Er sieht die Schuld in beiden Teilen. Vielleicht legt Bryce nicht genug Wert auf das kulturelle Milieu, die Disharmonie, die aus dem bösen Zustande klingt: der Einwohner und Kulturträger bleibt arm, der Fremde trägt den Reichtum fort. Aber man hat sich überhaupt an eine derartige Auffassung kultureller Fragen noch nicht gewöhnt, und Bryce ist sie sicher in ihren Tiefen noch unbekannt.

Jedoch das ist ja weniger wichtig als die andere Thatsache, dass ein guter Kenner und ein vornehmer Mensch diese Verhältnisse geschildert hat. — Die Uebersetzung ist gut. —

Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover

Demnächst erscheint:

Instrumentenkunde für Forschungsreisende

Von

Wilhelm Miller

Königl. Professor an der Industrieschule in Augsburg

Preis ca. Mk. 3.—

Die Instrumentenkunde soll in möglichst knapper klarer Form alle Instrumente besprechen, welche bei Forschungsreisen bezw. im Auslande zu wissenschaftlichen Beobachtungen benutzt werden; also alle astronomischen wie nautischen, meteorologischen, magnetometrischen, überhaupt alle physikalischen, optischen, geodätischen, geologischen (Mikroskope, Zootome) Instrumente. — Die photographischen bezw. photogrammetrischen Instrumente sollen hierbei eine grosse Rolle spielen, Chronometer, Schrittzähler etc. sollen nicht unberücksichtigt bleiben.

Die Instrumentenkunde soll den Reisenden auch informieren über die Werkstätten, welche solche und ähnliche Instrumente herstellen, dann über den Preis der Fabrik, über das Gewicht, über die Ausmasse etc. und ein praktisches Nachschlagebuch sein.

Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover

Die Vermessungskunde

Ein Taschenbuch für Schule und Praxis

von

Wilhelm Miller

Königl. Professor an der Industrieschule in Augsburg

Mit 117 in den Text gedruckten Abbildungen

Elegant gebunden Preis Mk. 3.—

Demnächst erscheint:

Gesteinskunde

für Techniker, Bergingenieure und Studierende der Naturwissenschaften

von

Dr. F. Rinne

Professor an der Technischen Hochschule, Hannover

Mit zahlreichen Abbildungen im Text und 2 Tafeln in Lichtdruck

Preis ca. Mk. 7.—

Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover

Zwischen Filipinos und Amerikanern auf Luzon

Reiseskizzen

von

Dr. F. Rinne

Professor an der Techn. Hochschule, Hannover

Mit Abbildungen im Text

Preis ca. Mk. 1.50

Anziehend geschriebene Schilderungen eines Aufenthaltes in Paracale auf Luzon, einem kleinen lieblich an Meer, Fluss und Wald gelegenen Tagalenstädtchen, das Centralpunkt für bergmännisch-wissenschaftliche Untersuchungen war.

Professor Rinne machte die Fahrt zusammen mit den Bergingenieuren Kegel und Dr. Herrmann, welch letzterer seit Jahren auf den Philippinen thätig ist und das Luzoneiland und seine Bewohner gründlich kennt. Die Reise wurde auf dem Dampfer „Preussen“, der auch den deutschen Gesandten Mumm von Schwarzenstein und eine Anzahl Generalstabsoffiziere und Soldaten hinausführte, bis Hongkong zurückgelegt, von wo ein japanisches Schiff bis Manila benutzt wurde. Ein kleiner spanischer Dampfer brachte die Reisenden unter schwerem Unwetter bis Dalt an der Ostküste Luzons, und von hier wurde die letzte Strecke der Reise über Land und schliesslich in einem Ruderboote zurückgelegt.

Verlag von Gebrüder Jänecke in Hannover

Das Buch der Berufe

Ein Führer und Berater bei der Berufswahl

giebt von hervorragenden Fachleuten anziehend geschriebene Gesamtdarstellungen der Hauptberufe des Mannes mit Betrachtung der wissenschaftlichen und persönlichen Voraussetzungen, Beleuchtung des richtigen Studien- und Entwicklungsganges und Belehrung über die materiellen und idealen Aussichten.

Das Buch der Berufe will unter dem Motto: „Erkenne dich selbst“ allen den jungen Leuten, die vor dem Abgang von der Schule und vor dem Eintritt in das Leben stehen, ein treuer Mentor sein und dieselben durch guten Rat vor Umwegen und dem Schicksal bewahren, den Beruf zu verfehlen.

Bis jetzt erschienen die Bände:

I. Band: Der Marineoffizier	Von Eugen Kohlhauer, Korvettenkapitän a. D.
II. Band: Der Elektrotechniker	Von Fritz Süchting, Ingenieur des städt. Elektrizitätswerks Bielefeld
III. Band: Der Ingenieur	Von Wilh. Freyer, Ingenieur und Lehrer an der höheren Maschinenbauschule zu Hagen i. W.
IV. Band: Der Chemiker	Von Dr. Hermann Warnecke, Chemiker der Chem. Fabrik de Haën, List vor Hannover

Weitere Bände in Vorbereitung

Jeder Band in elegantem Leinenband und reich illustriert

Preis jeden Bandes Mk. 4.

Herr Generalsekretär Dr. W. Beumer sagt in **Stahl und Eisen**: Das vorstehende Unternehmen ist unserer Meinung nach ein sehr bedeutungsvolles und entspricht einem thatsächlich vorhandenen Bedürfnis. Es ist nicht zu verwechseln mit den nach Hunderten zählenden Büchern über die Berufswahl, die ein Kompendium der Vorschriften über die Berechtigungen unserer höheren Lehranstalten, die Vorbedingungen zur Aufnahme in die Universität, die technische Hochschule und dergl. enthalten, sondern hier liegt eine vertiefte, von Fachleuten geschriebene Darstellung der einzelnen Berufsarten und ihrer Aufgaben vor, die einen wirklichen Einblick in das Wesen des betreffenden Berufes gestattet. Sie bildet somit nicht allein für die Eltern einen Ratgeber bei der schweren Frage der Berufswahl für ihre Söhne, sondern für die letzteren nach geschehener Berufswahl auch ein vortreffliches Vademecum für die erste Zeit des Studiums. Wir begrüssen deshalb das Unternehmen mit besonderer Freude und glauben, dass sich die bisher erschienenen Bände unter dem Weihnachtsbaum manches deutschen Eisenhüttenmannes finden werden, da sie sich vortrefflich als Weihnachtsgabe eignen. Die Verlagshandlung ist seitens der grossen industriellen Werke und der Schiffahrtsunternehmungen bezüglich der Illustrationen in zuvorkommendster Weise unterstützt worden, so dass die letzteren nicht allein einen Schmuck, sondern eine wesentliche materielle Bereicherung der vornehm ausgestatteten Bände bilden.

569037

G
R

Richthofen, Ferdinand Paul Wilhelm, Freiherr von

Führer für Forschungsreisende.

University of Toronto
Library

DO NOT
REMOVE
THE
CARD
FROM
THIS
POCKET

Acme Library Card Pocket
LOWE-MARTIN CO. LIMITED